



PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: **07326820 A**(43) Date of publication of application: **12.12.95**

(51) Int. Cl.

H01S 3/18
H01S 3/085
(21) Application number: **06116556**(71) Applicant: **MITSUBISHI ELECTRIC CORP**(22) Date of filing: **30.05.94**(72) Inventor: **MATSUMOTO KEISUKE**(54) **VARIABLE WAVELENGTH SEMICONDUCTOR LASER DEVICE**

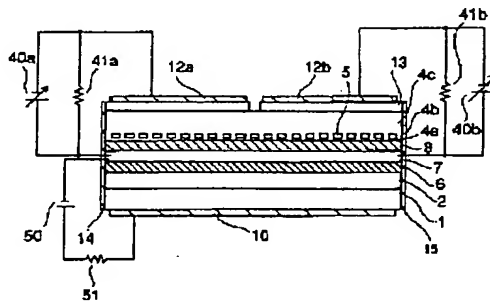
by applying the electric fields can be prevented, and the wavelength range can be increased.

(57) Abstract:

COPYRIGHT: (C)1995,JPO

PURPOSE: To obtain a variable wavelength semiconductor laser device which can output laser light of narrow spectrum line width and change the wavelength in a wide range.

CONSTITUTION: In a variable wavelength semiconductor laser device of electric field applying type TTG structure, the end surfaces of a resonator are asymmetrically coated, the reflectivity of the front end surface is made different from that of the rear end surface, an electrode applying an electric field to a tuning layer 8 is divided into a plurality of segments (12a, 12b) in the resonator length direction, and the respective electrodes for applying electric fields are so constituted that voltages are applied in the manner in which the absorption loss generated in the whole part of the resonator by applying the electric fields is made constant independently of the magnitude of the total sum of the electric fields applied to the electrodes. Thereby the generation of the negative change of refractive index due to absorption loss increase caused



(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平7-326820

(43) 公開日 平成7年(1995)12月12日

(51) Int.Cl.⁶

識別記号

庁内整理番号

F I

技術表示箇所

H 0 1 S 3/18
3/085

H 0 1 S 3/ 08

S

審査請求 未請求 請求項の数14 O L (全 22 頁)

(21) 出願番号 特願平6-116556

(22) 出願日 平成6年(1994)5月30日

(71) 出願人 000006013

三菱電機株式会社

東京都千代田区丸の内二丁目2番3号

(72) 発明者 松本 啓資

兵庫県伊丹市瑞原4丁目1番地 三菱電機
株式会社光・マイクロデバイス開発研究
所内

(74) 代理人 弁理士 早瀬 憲一

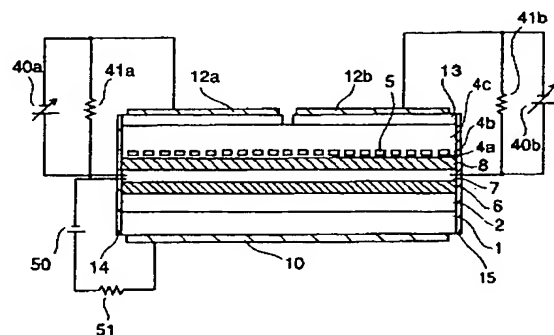
(54) 【発明の名称】 波長可変半導体レーザ装置

(57) 【要約】

【目的】 狭いスペクトル線幅のレーザ光を出射でき、
波長可変幅の広い波長可変半導体レーザ装置を得る。

【構成】 電界印加型のTTG構造波長可変半導体レー
ザ装置において、共振器端面を非対称コーティングして
その反射率を前端面と後端面とで異なるものとするこ
とと、チューニング層8に電界を印加する電極を共振器
長方向に複数に分割されたもの(12a, 12b)とし、
それぞれの電界印加用電極に、電界印加により共振
器全体で生じる吸収損失がこれら電極により印加する
電界の総和の大きさに関わらず一定となるように、電圧が
与えられる構成とした。

【効果】 電界印加による吸収損失増大によって負の屈
折率変化が生じることを防止でき、波長可変幅を広くす
ることができる。



- 1: p-InP基板
- 2: 第1のp-InPバッファ層
- 4a: p-InPガイド層
- 4b: 第2のp-InPバッファ層
- 4c: 第3のp-InPバッファ層
- 5: 屈折格子形成層
- 6: 活性層
- 7: n-InPスベサ層
- 8: チューニング層
- 10: レーザ駆動用p側電極
- 12a: 第1のチューニング用p側電極
- 12b: 第2のチューニング用p側電極
- 13: p-InGaAsコンタクト層
- 14: ARコーティング層
- 15: HRコーティング層
- 40a: 第1の変圧電圧源
- 40b: 第2の変圧電圧源
- 41a, 41b, 51: 抵抗
- 50: 駆動源

【特許請求の範囲】

【請求項1】 第1導電型半導体基板上に配置され、電流注入により光を発生する半導体活性層と、
上記半導体活性層との間に第2導電型の半導体スペーサ層を挟んで積層され、電界が印加されることによる屈折率変化により、レーザの発振波長を可変とする半導体チューニング層と、

上記半導体活性層及び半導体チューニング層の両端に、相互に対向して設けられた前端面と後端面の反射率が相互に異なる一対の共振器端面と、

上記半導体チューニング層に電界を印加する、共振器長方向に複数に分割された第1導電側の電界印加用電極と、

上記半導体活性層に電流を注入する第1導電側の電流注入用電極と、

上記半導体スペーサ層に電気的に接続された、上記第1導電側の電界印加用電極、及び上記第1導電側の電流注入用電極と対となる第2導電側の共通電極とを備えたことを特徴とする波長可変半導体レーザ装置。

【請求項2】 請求項1記載の波長可変半導体レーザ装置において、

上記分割されたそれぞれの第1導電側の電界印加用電極と上記第2導電側の共通電極との間に、電界印加により共振器全体で生じる吸収損失がこれら電極により印加する電界の総和の大きさにかかわらず一定となるように、電圧を与える可変電圧源を備えたことを特徴とする波長可変半導体レーザ装置。

【請求項3】 請求項2記載の波長可変半導体レーザ装置において、

上記半導体チューニング層は上記半導体活性層の上側に積層されたものであることを特徴とする波長可変半導体レーザ装置。

【請求項4】 第1導電型半導体基板上に配置され、電流注入により光を発生する半導体活性層と、

上記半導体活性層との間に第2導電型の半導体スペーサ層を挟んで積層され、電界が印加されることによる屈折率変化により、レーザの発振波長を可変とする半導体チューニング層と、

上記半導体活性層及び半導体チューニング層の両端に、相互に対向して設けられた前端面と後端面の反射率が相互に異なる一対の共振器端面と、

上記半導体チューニング層に電界を印加する第1導電側の電界印加用電極と、

上記半導体活性層に電流を注入する、共振器長方向に複数に分割された第1導電側の電流注入用電極と、

上記半導体スペーサ層に電気的に接続された、上記第1導電側の電界印加用電極、及び上記第1導電側の電流注入用電極と対となる第2導電側の共通電極とを備えたことを特徴とする波長可変半導体レーザ装置。

【請求項5】 請求項4記載の波長可変半導体レーザ装

置において、

上記分割されたそれぞれの第1導電側の電流注入用電極と上記第2導電側の共通電極との間に、共振器全体のしきい値キャリア密度が上記電界印加用電極による電界印加により共振器全体で生じる吸収損失の大きさにかかわらず一定となるように、電圧を与える駆動電源を備えたことを特徴とする波長可変半導体レーザ装置。

【請求項6】 請求項5記載の波長可変半導体レーザ装置において、

10 上記半導体チューニング層は上記半導体活性層の下側に積層されたものであることを特徴とする波長可変半導体レーザ装置。

【請求項7】 第1導電型半導体基板上に配置され、電流注入により光を発生する半導体活性層と、

上記半導体活性層との間に第2導電型の半導体スペーサ層を挟んで積層された、電界印加による屈折率変化、吸収変化が異なる複数の領域を共振器長方向に配置してなり、電界が印加されることによる屈折率変化により、レーザの発振波長を可変とする半導体チューニング層と、

20 上記半導体活性層及び半導体チューニング層の両端に、相互に対向して設けられた前端面、及び後端面からなる一対の共振器端面と、

上記半導体チューニング層の各領域に対応して分割され、上記半導体チューニング層に電界を印加する、第1導電側の電界印加用電極と、

上記活性層に電流を注入する第1導電側の電流注入用電極と、

30 上記半導体スペーサ層に電気的に接続された、上記第1導電側の電界印加用電極、及び上記第1導電側の電流注入用電極と対となる第2導電側の共通電極とを備えたことを特徴とする波長可変半導体レーザ装置。

【請求項8】 請求項7記載の波長可変半導体レーザ装置において、

上記分割されたそれぞれの第1導電側の電界印加用電極と上記第2導電側の共通電極との間に、電界印加により共振器全体で生じる吸収損失がこれら電極により印加する電界の総和の大きさに関わらず一定となるように、電圧を与える可変電圧源を備えたことを特徴とする波長可変半導体レーザ装置。

40 【請求項9】 電流注入により光を発生する半導体活性層と、

電界が印加されることによる屈折率変化により、レーザの発振波長を可変とする半導体チューニング層と、
共振器長方向に周期性を持つ回折格子を形成する半導体層と、

上記半導体チューニング層に電界を印加する第1導電側の電界印加用電極と、

上記半導体活性層に電流を注入する第1導電側の電流注入用電極と、

50 上記回折格子を形成する半導体層に、回折格子の結合定

数を増加させ上記半導体チューニング層に電界を印加することにより生ずる吸収損失を補償するように電界を印加する第1導電側の電極と、

上記第1導電側の電界印加用電極、上記第1導電側の電流注入用電極、及び上記回折格子に電界を印加する第1導電側の電極と対となる第2導電側の共通電極とを備えたことを特徴とする波長可変半導体レーザ装置。

【請求項10】 請求項9記載の波長可変半導体レーザ装置において、

上記半導体活性層は、第1導電型半導体基板上に配置されたものであり、

上記半導体チューニング層は、第2導電型の半導体スペーサ層を挟んで上記半導体活性層と積層されたものであり、

上記回折格子を形成する半導体層は、上記半導体チューニング層に接して配置されたものであり、

上記第2導電側の共通電極は上記半導体スペーサ層に電気的に接続されたものであり、

上記第1導電側の電界印加用電極は、上記回折格子を形成する半導体層に電界を印加する第1導電側の電極と兼用されるものであることを特徴とする波長可変半導体レーザ装置。

【請求項11】 請求項9記載の波長可変半導体レーザ装置において、

上記半導体活性層、上記半導体チューニング層、及び上記回折格子を形成する半導体層は、第2導電型基板上に、共振器長方向に位置的に直列して配置されたものであり、

上記第1導電側の電界印加用電極、上記第1導電側の電流注入用電極、及び上記回折格子に電界を印加する第1導電側の電極は、上記半導体活性層、上記半導体チューニング層、及び上記回折格子を形成する半導体層に対応して位置的に直列して配置されたものであり、

上記第2導電側の共通電極は、上記第2導電型基板裏面に設けられたものであることを特徴とする波長可変半導体レーザ装置。

【請求項12】 電流注入により光を発生する半導体活性層と、

電界が印加されることによる屈折率変化により、レーザの発振波長を可変とする半導体チューニング層と、

上記半導体チューニング層に電界を印加する第1導電側の電界印加用電極と、

上記半導体活性層に電流を注入する第1導電側の電流注入用電極と、

上記第1導電側の電界印加用電極、及び上記第1導電側の電流注入用電極と対となる第2導電側の共通電極と、上記半導体活性層で発生し導波される光の量を、上記半導体チューニング層に電界を印加することにより生ずる吸収損失を補償するように制御する光変調器とを備えたことを特徴とする波長可変半導体レーザ装置。

【請求項13】 請求項12記載の波長可変半導体レーザ装置において、

上記光変調器は、上記半導体活性層とは異なる基板上に設けられたものであることを特徴とする波長可変半導体レーザ装置。

【請求項14】 請求項12記載の波長可変半導体レーザ装置において、

上記光変調器は、上記半導体活性層と同一基板上に集積化して設けられたものであることを特徴とする波長可変半導体レーザ装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 この発明は、半導体レーザ装置に関し、特に、コヒーレント光通信システム等に用いられる、その発振波長を任意に可変することができる波長可変半導体レーザ装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】 近年、コヒーレント光通信システムにおける、異なった周波数の光を多重化して伝送容量を増大させる光周波数分割多重方式において、その光源、あるいは受信用局発光源として用いられる波長可変半導体レーザ装置の研究開発が盛んに行われている。特に、外部反射鏡などを用いない、単体の波長可変半導体レーザとして、素子内部に回折格子を作りつけた、分布帰還型(DFB)、分布ブラッグ反射型(DBR)をベースとした構造のレーザ素子の検討が盛んである。

【0003】 図19は、例えばIEEE フォトニクステクノロジー レターズ、5巻、3号、273～275頁(IEEE PHOTONICS TECHNOLOGY LETTERS, Vol.5, No. 3, March 1993, p.p.273～p.p.275, "Tunable Twin-Guide Lasers with Improved Performance Fabricated by Metal-Organic Vapor Phase Epitaxy" T. Wolf, S. Illek, J. Rieger, B. Borchert, and W. Thulke)に掲載された、従来の波長可変半導体レーザ装置を示す図であり、図20はその動作を説明するための、共振器長方向に対し垂直な面での断面図である。

【0004】 図において、201はp型(以下p-と記す) InP基板、202はp-InPバッファ層、203はバンドギャップ波長 $\lambda_g = 1.3 \mu\text{m}$ に相当する組成の InGaAsP からなるチューニング層、204はn型(以下n-と記す) InPスペーサ層、205はバンドギャップ波長 $\lambda_g = 1.55 \mu\text{m}$ に相当する組成の InGaAsP からなる活性層、206はp-InPガイド層、207は回折格子層、208はp-InPバッファ層、209はn-InP埋め込み層、210はp-InGaAsPコンタクト層である。また、211は絶縁膜、212は共通n側電極、213はレーザ駆動用のp側電極、214は波長チューニング用のp側電極である。また、220はp側電極213から注入された電流のうちレーザ発光に寄与する電流の経路、221はp側

電極213から注入された電流のうちレーザ発光に寄与しない無効電流の経路、222はp側電極214から注入された波長チューニング用電流の経路をそれぞれ示す。

【0005】この従来の波長可変半導体レーザ装置は、TTG (Tunable Twin-Guide) 構造と呼ばれるもので、この構造において、以下に説明するような、チューニング層に電流を注入する電流注入型のものが、現在のところ、原理上最大の連続波長可変幅が得られるものである。

【0006】次にこの従来例の製造工程について説明する。まず、p-InP基板201上に、有機金属気相成長(MOVPE)法を用いて、p-InPバッファ層202、InGaAsPチューニング層203、n-InPスペーサ層204、InGaAsP活性層205、p-InPガイド層206、及び回折格子形成層207を形成した後、回折格子形成層207を、写真製版とエッチングの技術を用いて共振器長方向(光の伝搬方向)に周期的に配置された複数のストライプに成形する。この後、回折格子形成層207を埋め込むようにp-InPバッファ層208aを結晶成長する。そして、該p-InPバッファ層208a上面にSiO₂膜をスパッタ法により成膜した後、該SiO₂膜を写真製版及び反応性イオンエッチング(以下、RIEと記す)技術を用いて共振器長方向に延びるストライプ形状に成形し、このストライプ状のSiO₂膜をマスクとして、引き続いてRIEにより、p-InPバッファ層208aからp-InPバッファ層202に達するように、半導体積層構造の一部をエッチング除去して、活性層幅が1.2μmのリッジ形状の導波路を形成する。そして、上記ストライプ状のSiO₂膜を選択成長のマスクとして用いて、リッジ導波路の両脇にn-InP埋込層209を埋め込み成長し、マスクとして用いたSiO₂膜を除去した後、該n-InP埋込層209上、及びマスクされていたp-InPバッファ層208a上に、p-InPバッファ層208bを結晶成長し、さらにバッファ層208b上にp-InGaAsPコンタクト層210を結晶成長する。そして、コンタクト層210、及びバッファ層208bの所定部分をn-InP埋込層209の表面が露出するまで除去した後、ウエハ表面全面にSiO₂からなる絶縁膜211を成膜する。次に、この絶縁膜211に、リッジ導波路の直上のp-InGaAsPコンタクト層210表面を露出させる開口、及びn-InP埋込層209を露出させる開口をそれぞれ形成する。そして、p-InGaAsPコンタクト層210の露出部分の表面に接するように上面p側電極213を、n-InP埋込層209の露出部分の表面に接するようにn側電極212を、及びp-InP基板201の裏面に裏面p側電極214をそれぞれ形成する工程等を経て、図19に示すTTG構造の波長可変半導体レーザ装置が完成す

る。

【0007】次に、動作原理について説明する。本従来例による波長可変半導体レーザ装置は、チューニング層203に電流を注入する電流注入型の波長可変半導体レーザ装置であり、以下のように動作する。

【0008】本従来例による波長可変半導体レーザ装置では、図20に示すように、レーザ光の発生に寄与する電流220は、p側電極213からp-InGaAsコンタクト層210、p-InPバッファ層208、p-InPガイド層206、活性層205、n-InPスペーサ層204、及びn-InP埋込層209を経てn側電極212へと流れる。また、波長チューニング用の電流222は、p側電極214からp-InP基板201、p-InPバッファ層202、チューニング層203、n-InPスペーサ層204、及びn-InP埋込層209を経てn側電極212へと流れる。このように、電流注入型のTTG構造においては、n-InPスペーサ層204を挟んで配置された活性層205とチューニング層203は、電気的に独立に制御される。また、TTG構造においては、活性層205で発生するレーザ光の電界の主要部は、回折格子層207、チューニング層203にまで拡がって分布する。従って、活性層205に流すレーザ駆動電流を一定、つまり、レーザ光の利得を一定に保った状態で上記チューニング層203に流すチューニング電流を変化させると、プラズマ効果により、上記チューニング層203の屈折率が変化し、光が感じる等価屈折率が変化し、これにより、上記レーザ光の発振波長を変化させることができる。

【0009】ここで、上記レーザ光の発振波長を λ 、上記等価屈折率を n_{eff} とすると、該発振波長 λ と、等価屈折率 n_{eff} との関係は、次式で示すようになる。

$$\lambda = 2 n_{\text{eff}} \Lambda \quad (\Lambda: \text{回折格子の周期})$$

このため、上記チューニング層203にチューニング電流を注入することによって生じる等価屈折率の変化を Δn_{eff} とすると、得られる波長変化量 $\Delta \lambda$ は、次式のようになる。

$$\Delta \lambda = 2 \Delta n_{\text{eff}} \Lambda$$

上記文献では、活性層205に流すレーザ駆動電流を120mAとし、チューニング層203に50mAのチューニング電流を注入することにより、最大レーザ出力を3mWに保ったまま、4.7nmの波長変化量が得られ、さらに、上記レーザ駆動電流を60mAにし、上記チューニング電流を70mAにすると、5.1nmの最大波長可変幅が得られることが示されている。

【0010】しかし、この従来例のように、チューニング層203に電流を注入することによるプラズマ効果を利用して、チューニング層203の屈折率を変化させると、注入したキャリアがランダムに再結合することによるキャリア密度のゆらぎが発生し、上記レーザ光のスペクトル線幅が増大するため、光周波数分割多重方式にお

けるスペクトル線幅は、数MHz以下にする必要があるにもかかわらず、波長可変幅を大きくするほどスペクトル線幅が増大するということが起こる。例えば、上記文献に示されている波長可変半導体レーザ装置では、波長可変幅に応じて5.4~50MHzの線幅となり、3nmの可変幅で26.5MHzの線幅となることが記載されている。

【0011】このようなスペクトル線幅の増大を防ぐ方法として、チューニング層に逆電界を印加することにより、チューニング層がバルクの場合にはフランツ・ケルディッシュ効果を、また、チューニング層が多重量子井戸構造の場合には量子閉じ込めシュタルク効果をそれぞれ利用して上記チューニング層の屈折率を変化させ、これによりレーザ光の波長を変化させることが考えられている。例えばアプライド フィジックス レターズ、59巻、21号 (Applied Physics Letters 59(21), 18 November 1991, P. 2721 ~ P. 2723 "Optical modulation characteristics of a twin-guide laser by an electric field"), 及びアプライド フィジックス レターズ、60巻、20号 (Applied Physics Letters 60(20), 18 May 1992, P. 2472~P. 2474 "Tunable twin-guide lasers with flat frequency modulation response by quantum confined Stark effect") には、このような電界印加型のTTG構造を有する波長可変半導体レーザ装置が記載されている。

【0012】図21は電界印加型の波長可変半導体レーザ装置の動作を説明するための図である。電界印加型の波長可変半導体レーザ装置の素子構造は図19に示す電流注入型の波長可変半導体レーザ装置の素子構造と同一である。図21は導波路部分における、共振器長方向に沿った断面を示す。図において、図19と同一符号は同一又は相当部分であり、50は活性層205にレーザ駆動電流を与える電源であり、51は電源50とレーザ素子との間に直列に接続された抵抗である。また40はチューニング層203に電界を印加する可変電源であり、41はレーザ素子と並列に電源40に接続された抵抗である。図21において、スペーサ層204に接続される電源端子は、実際には、図19に示すn側電極212に接続される。

【0013】次に動作について説明する。電界印加型の波長可変半導体レーザ装置は、駆動電源50から抵抗51を介したレーザ駆動電流を活性層205に注入してレーザ光を発生させると同時に、n側電極212と、裏面p側電極214との間に可変電圧源40及び抵抗41により逆バイアス電圧をかけて、チューニング層203に逆方向の電界を印加することにより、フランツ・ケルディッシュ効果、もしくは量子閉じ込めシュタルク効果を利用して、該チューニング層203の屈折率を変化させ、これにより、上記レーザ光の波長を可変させるものである。

【0014】このような電界印加型の波長可変半導体レーザ装置では、チューニング層でのキャリアのランダムな再結合によるキャリア密度のゆらぎは生じないので、上述した電流注入型の波長可変半導体レーザ装置における問題は生じない。

【0015】しかし、この電界印加型の波長可変半導体レーザ装置では、上記Applied Physics Letters 59(21), 18 November 1991, P. 2721 ~ P. 2723, および Applied Physics Letters 60(20), 18 May 1992, P. 2472~P. 2474に示されているように、以下の理由から、大きな波長可変幅を得ることができないという問題が生じる。

【0016】即ち、図21において、チューニング層203に逆方向電界を印加すると、図22(b)の実線k'で示すようなチューニング層203の屈折率の変化が生じるが、この時、クラマース・クローニヒの関係から、同時に、図22(a)の実線kで示すようなチューニング層203における光吸収量の変化が生じる。

【0017】図22(b)において、レーザ発振波長1.55μm近傍では、チューニング層203に逆電界を印加することによる屈折率変化 Δn_1 は、 $\Delta n_1 > 0$ であり、屈折率が増大する方向にあることが判る。一方、図22(a)に示すように光の吸収量が $\Delta \alpha_2$ 分増大すると、これにより、レーザの発振に必要なしきい値電流が増大、つまり発振に必要なキャリア密度が増大して、レーザ共振器中のキャリア密度が増大する。このため、プラズマ効果により、屈折率が減少の方向にある負の屈折率変化 Δn_2 ($\Delta n_2 < 0$)が生じ、この屈折率変化 Δn_2 が上記逆電界印加による屈折率変化 Δn_1 を打ち消すこととなるため、レーザ共振器全体における屈折率変化が小さくなってしまい、得られる波長可変幅が小さくなってしまいう問題があった。

【0018】

【発明が解決しようとする課題】従来の波長可変半導体レーザ装置は、以上のように構成されており、電流注入型のTTG構造にすると大きな波長可変幅を得ることができるが、電流を注入することによりノイズが発生するため、鋭い光のスペクトルとすることが難しく、かつ波長可変幅の増大にともなってスペクトル線幅も増大するため、レーザ光を多重化して伝送する上で隣あったスペクトル同士が影響しあい、伝送品質が悪く実用に適さないという問題があった。

【0019】一方、このスペクトル線幅が増大する問題を解決するために、上記TTG構造の波長可変半導体レーザ装置を電界印加型にすると、電界印加によるチューニング層の吸収量の増加に起因して、屈折率変化が減殺され、大きな波長可変幅を得ることができないという問題点があった。

【0020】この発明は、以上のような問題点を解消するためになされたもので、狭いスペクトル線幅のレーザ光を出射し、かつ該レーザ光の発振波長の可変幅が広い

波長可変半導体レーザ装置を提供することを目的とする。

【0021】

【課題を解決するための手段】この発明にかかる波長可変半導体レーザ装置は、第1導電型半導体基板上に配置され、電流注入により光を発生する半導体活性層と、第2導電型の半導体スペーサ層を挟んで上記半導体活性層と積層され、電界が印加されることによる屈折率変化により、レーザの発振波長を可変とする半導体チューニング層と、上記半導体活性層及び半導体チューニング層の両端に、相互に対向して設けられた前端面と後端面の反射率が相互に異なる一対の共振器端面と、上記半導体チューニング層に電界を印加する、共振器長方向に複数に分割された第1導電側の電界印加用電極と、上記半導体活性層に電流を注入する第1導電側の電流注入用電極と、上記半導体スペーサ層に電気的に接続された、上記第1導電側の電界印加用電極、及び上記第1導電側の電流注入用電極と対となる第2導電側の共通電極とを備えたものである。

【0022】また、この発明にかかる波長可変半導体レーザ装置は、上記波長可変半導体レーザ装置において、上記分割されたそれぞれの第1導電側の電界印加用電極と上記第2導電側の共通電極との間に、電界印加により共振器全体で生じる吸収損失がこれら電極により印加する電界の総和の大きさにかわらず一定となるように、電圧を与える可変電圧源を備えたものである。

【0023】また、この発明にかかる波長可変半導体レーザ装置は、上記波長可変半導体レーザ装置において、上記半導体チューニング層が上記半導体活性層の上側に積層された構成としたものである。

【0024】また、この発明にかかる波長可変半導体レーザ装置は、第1導電型半導体基板上に配置され、電流注入により光を発生する半導体活性層と、第2導電型の半導体スペーサ層を挟んで上記半導体活性層と積層され、電界が印加されることによる屈折率変化により、レーザの発振波長を可変とする半導体チューニング層と、上記半導体活性層及び半導体チューニング層の両端に、相互に対向して設けられた前端面と後端面の反射率が相互に異なる一対の共振器端面と、上記半導体チューニング層に電界を印加する第1導電側の電界印加用電極と、上記半導体活性層に電流を注入する、共振器長方向に複数に分割された第1導電側の電流注入用電極と、上記半導体スペーサ層に電気的に接続された、上記第1導電側の電界印加用電極、及び上記第1導電側の電流注入用電極と対となる第2導電側の共通電極とを備えたものである。

【0025】また、この発明にかかる波長可変半導体レーザ装置は、上記波長可変半導体レーザ装置において、上記分割されたそれぞれの第1導電側の電流注入用電極と上記第2導電側の共通電極との間に、共振器全体のし

きい値キャリア密度が上記電界印加用電極による電界印加により共振器全体で生じる吸収損失の大きさにかかわらず一定となるように、電圧を与える駆動電源を備えたものである。

【0026】また、この発明にかかる波長可変半導体レーザ装置は、上記波長可変半導体レーザ装置において、上記半導体チューニング層が上記半導体活性層の下側に積層された構成としたものである。

【0027】また、この発明にかかる波長可変半導体レーザ装置は、第1導電型半導体基板上に配置され、電流注入により光を発生する半導体活性層と、第2導電型の半導体スペーサ層を挟んで上記半導体活性層と積層された、電界印加による屈折率変化、吸収変化が異なる複数の領域を共振器長方向に配置してなり、電界が印加されることによる屈折率変化により、レーザの発振波長を可変とする半導体チューニング層と、上記半導体活性層及び半導体チューニング層の両端に、相互に対向して設けられた前端面、及び後端面からなる一対の共振器端面と、上記半導体チューニング層の各領域に対応して分割され、上記半導体チューニング層に電界を印加する、第1導電側の電界印加用電極と、上記活性層に電流を注入する第1導電側の電流注入用電極と、上記半導体スペーサ層に電気的に接続された、上記第1導電側の電界印加用電極、及び上記第1導電側の電流注入用電極と対となる第2導電側の共通電極とを備えたものである。

【0028】また、この発明にかかる波長可変半導体レーザ装置は、上記波長可変半導体レーザ装置において、上記分割されたそれぞれの第1導電側の電界印加用電極と上記第2導電側の共通電極との間に、電界印加により共振器全体で生じる吸収損失がこれら電極により印加する電界の総和の大きさに関わらず一定となるように、電圧を与える可変電圧源を備えたものである。

【0029】また、この発明にかかる波長可変半導体レーザ装置は、電流注入により光を発生する半導体活性層と、電界が印加されることによる屈折率変化により、レーザの発振波長を可変とする半導体チューニング層と、共振器長方向に周期性を持つ回折格子を形成する半導体層と、上記半導体チューニング層に電界を印加する第1導電側の電界印加用電極と、上記半導体活性層に電流を注入する第1導電側の電流注入用電極と、上記回折格子を形成する半導体層に、回折格子の結合定数を増加させ上記半導体チューニング層に電界を印加することにより生ずる吸収損失を補償するように電界を印加する第1導電側の電極と、上記第1導電側の電界印加用電極、上記第1導電側の電流注入用電極、及び上記回折格子に電界を印加する第1導電側の電極と対となる第2導電側の共通電極とを備えたものである。

【0030】また、この発明にかかる波長可変半導体レーザ装置は、上記波長可変半導体レーザ装置において、上記半導体活性層が、第1導電型半導体基板上に配置さ

れたものであり、上記半導体チューニング層が、第2導電型の半導体スペーサ層を挟んで上記半導体活性層と積層されたものであり、上記回折格子を形成する半導体層が、上記半導体チューニング層に接して配置されたものであり、上記第2導電側の共通電極が、上記半導体スペーサ層に電気的に接続されたものであり、上記第1導電側の電界印加用電極が、上記回折格子を形成する半導体層に電界を印加する第1導電側の電極と兼用される構成としたものである。

【0031】また、この発明にかかる波長可変半導体レーザ装置は、上記波長可変半導体レーザ装置において、上記半導体活性層、上記半導体チューニング層、及び上記回折格子を形成する半導体層が、第2導電型基板上に、共振器長方向に位置的に直列して配置されたものであり、上記第1導電側の電界印加用電極、上記第1導電側の電流注入用電極、及び上記回折格子に電界を印加する第1導電側の電極が、上記半導体活性層、上記半導体チューニング層、及び上記回折格子を形成する半導体層に対応して位置的に直列して配置されたものであり、上記第2導電側の共通電極が、上記第2導電型基板裏面に設けられた構成としたものである。

【0032】また、この発明にかかる波長可変半導体レーザ装置は、電流注入により光を発生する半導体活性層と、電界が印加されることによる屈折率変化により、レーザの発振波長を可変とする半導体チューニング層と、上記半導体チューニング層に電界を印加する第1導電側の電界印加用電極と、上記半導体活性層に電流を注入する第1導電側の電流注入用電極と、上記第1導電側の電界印加用電極、及び上記第1導電側の電流注入用電極と対となる第2導電側の共通電極と、上記半導体活性層で発生し導波される光の量を、上記半導体チューニング層に電界を印加することにより生ずる吸収損失を補償するように制御する光変調器とを備えたものである。

【0033】また、この発明にかかる波長可変半導体レーザ装置は、上記波長可変半導体レーザ装置において、上記光変調器を、上記半導体活性層とは異なる基板上に設けたものである。

【0034】また、この発明にかかる波長可変半導体レーザ装置は、上記波長可変半導体レーザ装置において、上記光変調器を、上記半導体活性層と同一基板上に集積化して設けたものである。

【0035】

【作用】この発明においては、第1導電型半導体基板上に配置され、電流注入により光を発生する半導体活性層と、第2導電型の半導体スペーサ層を挟んで上記半導体活性層と積層され、電界が印加されることによる屈折率変化により、レーザの発振波長を可変とする半導体チューニング層と、上記半導体活性層及び半導体チューニング層の両端に、相互に対向して設けられた前端面と後端面の反射率が相互に異なる一対の共振器端面と、上記半

導体チューニング層に電界を印加する、共振器長方向に複数に分割された第1導電側の電界印加用電極と、上記半導体活性層に電流を注入する第1導電側の電流注入用電極と、上記半導体スペーサ層に電気的に接続された、上記第1導電側の電界印加用電極、及び上記第1導電側の電流注入用電極と対となる第2導電側の共通電極とを備えた構成としたので、分割された各電界印加用電極に対応する上記チューニング層の領域に印加する電界を調節することにより、共振器全体での吸収損失を一定に保ったままチューニング層に印加する電界の総和を増大させることができ、これにより、負の屈折率変化による減殺を生じることなく、チューニング層への電界印加による正の屈折率変化を取り出すことができ、上記活性層で発生させた光の波長を、スペクトル線幅を増大させずに大きな幅で可変することができる。

【0036】また、この発明においては、上記波長可変半導体レーザ装置において、上記分割されたそれぞれの第1導電側の電界印加用電極と上記第2導電側の共通電極との間に、電界印加により共振器全体で生じる吸収損失がこれら電極により印加する電界の総和の大きさにかかわらず一定となるように、電圧を与える可変電圧源を備えた構成としたので、負の屈折率変化による減殺を生じることなく、チューニング層への電界印加による正の屈折率変化を取り出すことができ、上記活性層で発生させた光の波長を、スペクトル線幅を増大させずに大きな幅で可変することができる波長可変半導体レーザ装置を実現できる。

【0037】また、この発明においては、上記波長可変半導体レーザ装置において、上記半導体チューニング層が上記半導体活性層の上側に積層された構成としたので、上記活性層で発生させた光の波長を、スペクトル線幅を増大させずに大きな幅で可変することができる波長可変半導体レーザ装置を半導体チューニング層が上側の構造で実現できる。

【0038】また、この発明においては、第1導電型半導体基板上に配置され、電流注入により光を発生する半導体活性層と、第2導電型の半導体スペーサ層を挟んで上記半導体活性層と積層され、電界が印加されることによる屈折率変化により、レーザの発振波長を可変とする半導体チューニング層と、上記半導体活性層及び半導体チューニング層の両端に、相互に対向して設けられた前端面と後端面の反射率が相互に異なる一対の共振器端面と、上記半導体チューニング層に電界を印加する第1導電側の電界印加用電極と、上記半導体活性層に電流を注入する、共振器長方向に複数に分割された第1導電側の電流注入用電極と、上記半導体スペーサ層に電気的に接続された、上記第1導電側の電界印加用電極、及び上記第1導電側の電流注入用電極と対となる第2導電側の共通電極とを備えた構成としたので、上記チューニング層に電界を印加するに従い、共振器全体でのしきい値キャ

リア密度が一定となるように各電流注入用電極からの注入電流の量を調節することができ、これにより電界印加型のTTG構造で生じる吸収損失の増大による負の屈折率変化をなくすことができ、広い波長範囲で先鋭なスペクトルを出力することができる。

【0039】また、この発明においては、上記波長可変半導体レーザ装置において、上記分割されたそれぞれの第1導電側の電流注入用電極と上記第2導電側の共通電極との間に、共振器全体のしきい値キャリア密度が上記電界印加用電極による電界印加により共振器全体で生じる吸収損失の大きさにかわらず一定となるように、電圧を与える駆動電源を備えた構成としたので、電界印加型のTTG構造で生じる吸収損失の増大による負の屈折率変化をなくすことができ、広い波長範囲で先鋭なスペクトルを出力する波長可変半導体レーザ装置を実現できる。

【0040】また、この発明においては、上記波長可変半導体レーザ装置において、上記半導体チューニング層が上記半導体活性層の下側に積層された構成としたので、広い波長範囲で先鋭なスペクトルを出力する波長可変半導体レーザ装置を、半導体活性層が上側の構造で実現できる。

【0041】また、この発明においては、第1導電型半導体基板上に配置され、電流注入により光を発生する半導体活性層と、第2導電型の半導体スペーサ層を挟んで上記半導体活性層と積層された、電界印加による屈折率変化、吸収変化が異なる複数の領域を共振器長方向に配置してなり、電界が印加されることによる屈折率変化により、レーザの発振波長を可変とする半導体チューニング層と、上記半導体活性層及び半導体チューニング層の両端に、相互に対向して設けられた前端面、及び後端面からなる一対の共振器端面と、上記半導体チューニング層の各領域に対応して分割され、上記半導体チューニング層に電界を印加する、第1導電側の電界印加用電極と、上記活性層に電流を注入する第1導電側の電流注入用電極と、上記半導体スペーサ層に電氣的に接続された、上記第1導電側の電界印加用電極、及び上記第1導電側の電流注入用電極と対となる第2導電側の共通電極とを備えた構成としたので、チューニング層の一の領域に電界を印加することにより生じる、上記活性層で発生させた光に対する吸収損失を、チューニング層の他の領域に印加する電界強度を調節して共振器全体の吸収損失が変化しないようにすることができ、これにより吸収量の変化による負の屈折率変化をなくすことができ、チューニング層の一の領域による正の屈折率変化による広い波長可変幅を維持することができ、広い範囲でその波長を可変できる。

【0042】また、この発明においては、上記波長可変半導体レーザ装置において、上記分割されたそれぞれの第1導電側の電界印加用電極と上記第2導電側の共通電

極との間に、電界印加により共振器全体で生じる吸収損失がこれら電極により印加する電界の総和の大きさに関わらず一定となるように、電圧を与える可変電圧源を備えた構成としたので、吸収量の変化による負の屈折率変化をなくすことができ、チューニング層の一の領域による正の屈折率変化による広い波長可変幅を維持することができ、広い範囲でその波長を可変できる波長可変半導体レーザ装置を実現できる。

【0043】また、この発明においては、電流注入により光を発生する半導体活性層と、電界が印加されることによる屈折率変化により、レーザの発振波長を可変とする半導体チューニング層と、共振器長方向に周期性を持つ回折格子を形成する半導体層と、上記半導体チューニング層に電界を印加する第1導電側の電界印加用電極と、上記半導体活性層に電流を注入する第1導電側の電流注入用電極と、上記回折格子を形成する半導体層に、回折格子の結合定数を増加させ上記半導体チューニング層に電界を印加することにより生ずる吸収損失を補償するように電界を印加する第1導電側の電極と、上記第1導電側の電界印加用電極、上記第1導電側の電流注入用電極、及び上記回折格子に電界を印加する第1導電側の電極と対となる第2導電側の共通電極とを備えた構成としたので、吸収量の変化による負の屈折率変化をなくすことができ、広い範囲でその波長を可変できる波長可変半導体レーザ装置を実現できる。

【0044】また、この発明においては、上記波長可変半導体レーザ装置において、上記半導体活性層が、第1導電型半導体基板上に配置されたものであり、上記半導体チューニング層が、第2導電型の半導体スペーサ層を挟んで上記半導体活性層と積層されたものであり、上記回折格子を形成する半導体層が、上記半導体チューニング層に接して配置されたものであり、上記第2導電側の共通電極が、上記半導体スペーサ層に電氣的に接続されたものであり、上記第1導電側の電界印加用電極が、上記回折格子を形成する半導体層に電界を印加する第1導電側の電極と兼用される構成としたので、広い範囲でその波長を可変できるTTG構造の波長可変半導体レーザ装置を実現できる。

【0045】また、この発明においては、上記波長可変半導体レーザ装置において、上記半導体活性層、上記半導体チューニング層、及び上記回折格子を形成する半導体層が、第2導電型基板上に、共振器長方向に位置的に直列して配置されたものであり、上記第1導電側の電界印加用電極、上記第1導電側の電流注入用電極、及び上記回折格子に電界を印加する第1導電側の電極が、上記半導体活性層、上記半導体チューニング層、及び上記回折格子を形成する半導体層に対応して位置的に直列して配置されたものであり、上記第2導電側の共通電極が、上記第2導電型基板裏面に設けられた構成としたので、広い範囲でその波長を可変できるDBR構造の波長可変

半導体レーザ装置を実現できる。

【0046】また、この発明においては、電流注入により光を発生する半導体活性層と、電界が印加されることによる屈折率変化により、レーザの発振波長を可変とする半導体チューニング層と、上記半導体チューニング層に電界を印加する第1導電側の電界印加用電極と、上記半導体活性層に電流を注入する第1導電側の電流注入用電極と、上記第1導電側の電界印加用電極、及び上記第1導電側の電流注入用電極と対となる第2導電側の共通電極と、上記半導体活性層で発生し導波される光の量を、上記半導体チューニング層に電界を印加することにより生ずる吸収損失を補償するように制御する光変調器とを備えた構成としたので、吸収量の変化による負の屈折率変化をなくすことができ、広い範囲でその波長を可変できる波長可変半導体レーザ装置を実現できる。

【0047】また、この発明においては、上記波長可変半導体レーザ装置において、上記光変調器を、上記半導体活性層とは異なる基板上に設けた構成としたので、吸収量の変化による負の屈折率変化をなくすことができ、広い範囲でその波長を可変できる波長可変半導体レーザ装置を実現できる。

【0048】また、この発明においては、上記波長可変半導体レーザ装置において、上記光変調器を、上記半導体活性層と同一基板上に集積化して設けた構成としたので、広い範囲でその波長を可変できる集積型の波長可変半導体レーザ装置を実現できる。

【0049】

【実施例】

実施例1. 図1は本発明の第1の実施例による波長可変半導体レーザ装置の構造及び動作を説明するための図であり、図2は本第1の実施例による波長可変半導体レーザ装置の構造を示す斜視図である。図1では図2中のA-A線における断面を示している。これら図において、1はp-InP基板であり、第1のp-InPバッファ層2は基板1上に配置され、InGaAsPを用いたMQW構造を有する発振波長 $1.55\mu\text{m}$ の活性層6は第1のp-InPバッファ層2上に配置され、n-InPスペーサ層7は活性層6上に配置される。バンドギャップ波長 $\lambda_g=1.4\mu\text{m}$ に相当する組成のInGaAsPからなるチューニング層8はスペーサ層7上に配置され、p-InPガイド層4aはチューニング層8上に配置され、複数のストライプに成形されたInGaAsP回折格子形成層5はガイド層4a上に配置される。また、第2のp-InPバッファ層4bは、p-InPガイド層4a上、及び回折格子形成層5上に回折格子形成層5を埋め込むように配置される。p-InGaAsPコンタクト層13は第2のp-InPバッファ層4b上に配置される。コンタクト層13上には、チューニング層8に電界を印加するためのp側電極（以下、チューニング電極とも記す）12a、12bが配置される。チュ

ーニング電極12aとチューニング電極12bの間のコンタクト層13は電氣的な独立性を持たせるために除去されている。また、基板1裏面にはレーザ駆動用のp側電極10が設けられる。また、14はレーザの前端面（出射端面）に設けられた低反射率のARコーティング層、15はレーザの後端面に設けられた高反射率のHRコーティング層である。

【0050】次に、本実施例1による波長可変半導体レーザ装置の製造工程について説明する。まず、p-InP基板1上に、MOVPE法を用いて、第1のp-InPバッファ層2、InGaAsP活性層6、n-InPスペーサ層7、InGaAsPチューニング層8、p-InPガイド層4a、及びInGaAsP回折格子形成層5を形成した後、回折格子形成層5を、写真製版とエッチングの技術を用いて共振器長方向（光の伝搬方向）に周期的に配置された複数のストライプに成形する。この後、回折格子形成層5を埋め込むように第2のp-InPバッファ層4bを結晶成長する。そして、第2のp-InPバッファ層4b上面に、図示しないSiO₂膜をスパッタ法により成膜した後、該SiO₂膜を写真製版及びRIE技術を用いて共振器長方向に延びるストライプ形状に成形し、このストライプ状のSiO₂膜をマスクとして、引き続いてRIEにより、第2のp-InPバッファ層4bから第1のp-InPバッファ層2に達するように、半導体積層構造の一部をエッチング除去して、活性層幅が $1.2\mu\text{m}$ のリッジ形状の導波路を形成する。そして、上記ストライプ状のSiO₂膜を選択成長のマスクとして用いて、リッジ導波路の両脇にn-InP埋込層3を埋め込み成長し、マスクとして用いたSiO₂膜を除去した後、該n-InP埋込層3上、及びマスクされていたp-InPバッファ層4b上に、第3のp-InPバッファ層4cを結晶成長し、さらにバッファ層4c上にp-InGaAsPコンタクト層13を結晶成長する。

【0051】次に、コンタクト層13、及び第3のp-InPバッファ層4cの所定部分をn-InP埋込層3の表面が露出するまで除去する。また、第1のチューニング電極12aが形成される領域と第2のチューニング電極12bが形成される領域の電氣的な独立性を得るため、リッジ導波路上のコンタクト層13の一部を除去する。ここで、第1のチューニング電極12aが形成される領域と第2のチューニング電極12bが形成される領域の電氣的な分離は、リッジ導波路上のコンタクト層13、及びバッファ層4cの所定部分にエッチングにより溝を形成し、該溝内に例えばFeをドーブしたInP等を埋め込み成長することによっても達成できる。

【0052】この後、ウエハ表面全面にSiO₂からなる絶縁膜9を成膜した後、この絶縁膜9に、リッジ導波路の直上のp-InGaAsPコンタクト層13表面を露出させる開口、及びn-InP埋込層3を露出させる

開口をそれぞれ形成する。そして、 $p\text{-InGaAsP}$ コンタクト層210の露出部分の表面に接するようにチューニング電極12a、及び12bを、 $n\text{-InP}$ 埋込層3の露出部分の表面に接するように n 側電極11をそれぞれ形成し、また、 $p\text{-InP}$ 基板1の裏面にレーザ駆動用 p 側電極10を形成する。この後、劈開によってレーザ端面を形成し、前端面にARコーティング層14を、後端面にHRコーティング層15を形成する工程等を経て、本実施例1による波長可変半導体レーザ装置のレーザ素子が完成する。

【0053】次に、本第1の実施例による波長可変半導体レーザ装置の動作について説明する。レーザ駆動電流は、レーザ駆動電源50により、 n 側電極11、及びレーザ駆動用 p 側電極10間に $p\text{-n}$ 接合に対して順方向のバイアスを印加することにより、活性層6に注入される。一方、チューニング層8のうち、レーザの前端面側（ARコーティング層を設けた端面側）に位置する領域には、第1の可変電圧源41aにより、 n 側電極11、チューニング電極12a間に電圧をかけることによって電界 E_f が印加され、チューニング層8のうち、レーザの後端面側（HRコーティング層を設けた端面側）に位置する領域には、第2の可変電圧源41bにより、 n 側電極11、チューニング電極12b間に電圧をかけることによって電界 E_r が印加される。

【0054】ところで、コーティング仕様をAR/HRと非対称にした半導体レーザでは、ARコーティング側に吸収損失がある場合とHRコーティング側に吸収損失がある場合とで共振器全体におけるしきい値キャリア密度が異なり、一般に、ARコーティング側に吸収損失がある場合の方が、HRコーティング側に吸収損失がある場合に比べ、しきい値キャリア密度が小さくなる。これは、ARコーティングが施された端面に向かって進行する光は、その殆どが端面で反射されることなく外部に射出するので、ARコーティング側では吸収を一度しか受けないが、HRコーティングが施された端面に向かって進行する光は、その殆どが端面で反射されるのでHRコーティング側では吸収を二度受けることとなるため、HRコーティング側に吸収損失がある場合の方が吸収損失が高くなるからである。

【0055】本実施例1では、チューニング層8に電界を印加して波長チューニングを行なう際に、最初は第2の可変電圧源41bから、 n 側電極11、チューニング電極12b間に電圧をかけて、チューニング層8のHRコーティング膜15側の領域に電界 E_r を印加していき、その後は、第1の可変電圧源41aから上記 n 側電極11、チューニング電極12a間に電圧をかけて、上記チューニング層8のARコーティング膜14側の領域に電界 E_f を印加する。このとき、電界 E_f を増大させるにつれて、徐々に電界 E_r を減らし、共振器全体で生じる吸収損失が一定に保たれるように調節する。これに

より、上記Applied Physics Letters 59(21), 18 November 1991, および、Applied Physics Letters 60(20), 18 May 1992に指摘されているような電界印加による吸収損失の増大による負の屈折率変化をなくす。

【0056】このように、上記チューニング層8のHRコーティング膜15側の印加電界 E_r と上記ARコーティング膜14側の印加電界 E_f とを、その比率を適切に調節して印加するようにすれば、共振器全体での吸収損失を変化させることなく、チューニング層8に印加する電界強度の和 $E_f + E_r$ を大きくすることができ、電界印加によるしきい値キャリア密度の変動を抑えることができる。従って、プラズマ効果による負の屈折率変化を抑えることができ、上記チューニング層8に2つの電界の和 $E_f + E_r$ を印加したことによる正の屈折率変化が、負の屈折率変化により打ち消されることなく取り出されることとなり、広い波長可変幅を得ることができる。

【0057】このように、本実施例1では、電氣的に独立して制御することができる活性層とチューニング層とを備えたTTG構造を有し、チューニング層に電界を印加することにより波長を変化させる印加型のTTG構造波長可変半導体レーザ装置において、レーザの前端面、及び後端面にそれぞれARコーティング、及びHRコーティングを施した非対称コーティング構造とし、かつ、チューニング層8に電界を印加するために用いる電極を第1、及び第2のチューニング電極12a、12bに分割して、該電極12a、12bに対応した上記チューニング層8の各領域に各々独立して電界を印加することができる構造としたので、上記チューニング層8における上記ARコーティング膜14側、上記HRコーティング膜15側の各領域に印加する電界を調節することにより、共振器全体での吸収損失を一定に保ったままチューニング層に印加する電界の総和を増大させることができ、これにより、負の屈折率変化による減殺を生じることなく、チューニング層8への電界印加による正の屈折率変化を取り出すことができ、上記活性層6で発生させた光の波長を、スペクトル線幅を増大させずに大きな幅で可変することができる。

【0058】なお、上記実施例では、チューニング用電極を2つに分割したものについて示したが、チューニング用電極を3つ以上に分割してさらに細かい制御が可能な構造としてもよい。

【0059】また、上記実施例では InP 基板を用いた半導体レーザに適用したものについて示したが、 GaAs 基板を用いた他のIII-V族化合物半導体からなる半導体レーザにも本発明を適用できることは言うまでもない。

【0060】実施例2. 図3は本発明の第2の実施例による波長可変半導体レーザ装置の構造及び動作を説明するための図であり、図5は本第2の実施例による波長可

変半導体レーザ装置の構造を示す斜視図である。図3では図5中のB-B線における断面を示している。これら図において、図1、図2と同一符号は同一又は相当部分である。また、10aは活性層6のうち、レーザの前端面側（ARコーティング層14を設けた端面側）に位置する領域に対応して設けられた第1のレーザ駆動用p側電極であり、10bは活性層6のうち、レーザの後端面側（HRコーティング層15を設けた端面側）に位置する領域に対応して設けられた第2のレーザ駆動用p側電極である。チューニング用電極12は基板1裏面に設けられる。

【0061】本実施例2では、上記実施例1の活性層6とチューニング層8を入れ換えた構造とし、レーザ駆動用のp側電極を二つに分割して、前端面側の活性層と後端面側の活性層にそれぞれ独立に電流注入を行なうことができるものとしている。

【0062】本実施例2による波長可変半導体レーザ装置の素子製造工程は、一回目の結晶成長工程で、基板1上に、バッファ層2、活性層6、スペーサ層7、チューニング層8、ガイド層4a、回折格子形成層5の順に成長する代わりに、バッファ層2、チューニング層8、スペーサ層7、活性層6、ガイド層4a、回折格子形成層5の順に成長する点異なるが、その他の工程は上記実施例1による波長可変半導体レーザ装置の素子を製造する工程と同じである。

【0063】次に、動作について説明する。活性層6のうち、レーザの前端面側（ARコーティング層を設けた端面側）に位置する領域には、第1の駆動電流51aからレーザ駆動電流 I_f が、レーザの後端面側（HRコーティング層を設けた端面側）に位置する領域には、第2の駆動電流51bからレーザ駆動電流 I_r がそれぞれ独立に注入される。バンドギャップ波長 $\lambda_g = 1.4 \mu\text{m}$ に相当する組成のInGaAsPからなるチューニング層8には、可変電圧源41により、n側電極11、チューニング電極12間に電圧をかけることによって電界が印加される。

【0064】ところで、コーティング仕様をAR/HRと非対称にした半導体レーザ装置では、ARコーティング側の活性層へのレーザ駆動電流 I_f と、HRコーティング側の活性層へのレーザ駆動電流 I_r の比を変化させることにより、共振器全体のしきい値キャリア密度を変化させることができる。図4は活性層に注入するレーザ駆動電流の総和 $I_f + I_r$ に対するARコーティング側の活性層へのレーザ駆動電流 I_f の割合と、共振器全体のしきい値キャリア密度との関係を示す図である。図4からわかるように、一般に、しきい値キャリア密度は、 $I_f + I_r$ に対する I_f の割合を小さくすることにより小さくすることができる。

【0065】従って、チューニング層8に電界を印加するにつれて、上記活性層6に注入する2つのレーザ駆動

電流 I_f 、 I_r の比を変化させて、注入電流比 $I_f / (I_f + I_r)$ を小さくすれば、上記チューニング層8に電界を印加することによって生じる吸収損失の増大に伴うしきい値キャリア密度の増加を防ぐことができ、これにより、プラズマ効果による負の屈折率変化をなくすことができ、チューニング層8に電界を印加して発生させた正の屈折率変化を負の屈折率変化による減殺を受けることなく取り出すことができ、広い波長可変幅を得ることができる。

10 【0066】このように、本実施例2によれば、電氣的に独立して制御することができる活性層とチューニング層とを備えたTTG構造を有し、チューニング層に電界を印加することにより波長を変化させる印加型のTTG構造波長可変半導体レーザ装置において、レーザの前端面、及び後端面にそれぞれARコーティング、及びHRコーティングを施した非対称コーティング構造とし、かつ活性層6に電流注入するための電極を、ARコーティング膜14側と、HRコーティング膜15側とで電氣的に独立して電流注入が行えるように第1のレーザ駆動用p側電極10aと、第2のレーザ駆動用p側電極10bとに分割して設けたので、上記チューニング層8に電界を印加するに従い、上記活性層6の駆動電流に占める、該層6のARコーティング膜14側の領域に注入する駆動電流の割合が少なくなるように変化させて、レーザ発光、及び該光の波長可変を行うことにより、電界印加型のTTG構造で生じる吸収損失の増大による負の屈折率変化をなくすことができ、広い波長範囲で先鋭なスペクトルを出力することができる波長可変半導体レーザ装置を得ることができる。

30 【0067】なお、上記実施例では、レーザ駆動用電極をARコーティング膜側と、HRコーティング膜側との2つに分割したものについて示したが、レーザ駆動用電極を共振器長方向で3つ以上に分割してさらに細かく制御するようにすることも可能である。

【0068】また、上記実施例ではInP基板を用いた半導体レーザに適用したものについて示したが、GaAs基板を用いた他のIII-V族化合物半導体からなる半導体レーザにも本発明を適用できることは言うまでもない。

40 【0069】実施例3. 図6は本発明の第3の実施例による波長可変半導体レーザ装置の構造及び動作を説明するための図であり、図8は本第3の実施例による波長可変半導体レーザ装置の構造を示す斜視図である。図6では図8中のC-C線における断面を示している。

【0070】図において図1、図2は同一符号は同一又は相当部分である。また、8aはバンドギャップ波長 $\lambda_g = 1.4 \mu\text{m}$ に相当する組成のInGaAsPからなる第1のチューニング層、8bはバンドギャップ波長 $\lambda_g = 1.5 \mu\text{m}$ に相当する組成のInGaAsPからなる第2のチューニング層である。

【0071】また、図7(a), (b)は第1, 第2のチューニング層8a, 8bに電界を印加したときのそれぞれの吸収、及び屈折率の変化を示す図である。図に示すように、第1のチューニング層8aは、波長 $1.55\mu\text{m}$ の光に対し、電界印加により屈折率変化 Δn は大きい、吸収量変化 $\Delta\alpha$ が小さく、また、第2のチューニング層8bは、波長 $1.55\mu\text{m}$ の光に対し、電界印加により屈折率変化 Δn は小さい、吸収量変化 $\Delta\alpha$ が大きい。

【0072】次に、動作について説明する。レーザ駆動電流は、レーザ駆動電源50により、n側電極11、及びレーザ駆動用p側電極10を介して、活性層6に注入される。一方、チューニング層8aには、第1の可変電圧源41aを用いて、n側電極11、チューニング電極12a間に電圧をかけることによって電界が印加され、チューニング層8bには、第2の可変電圧源41bを用いて、n側電極11、チューニング電極12b間に電圧をかけることによって電界が印加される。

【0073】まず、チューニング層8bに所定の電界を印加し、チューニング層8aには電界を印加しない状態で、活性層6に電流を注入して波長 $1.55\mu\text{m}$ でレーザ発振させる。

【0074】第2のチューニング層8bは、図7(a)の破線mのような特性を示すため、この状態で、波長 $1.55\mu\text{m}$ のレーザ光は第2のチューニング層8bである程度吸収を受ける。

【0075】そして、第1の可変電圧源41aを用いて、第1のチューニング層8aに電界を印加し、この印加する電界強度に応じて、上記第2のチューニング層8bに印加していた電界強度を減らし、上記活性層6で発生したレーザ光に対する共振器全体の吸収損失が変化しないように調整する。これにより、上記Applied Physics Letters 59(21), 18 November 1991, および、Applied Physics Letters 60(20), 18 May 1992に指摘されているような電界印加による吸収損失の増大による負の屈折率変化をなくす。

【0076】ここで、上記第2のチューニング層8bは、図7(b)の破線m'で示すような屈折率変化特性を有するので、第2のチューニング層8bに印加していた電界強度を減らすことによる、波長 $1.55\mu\text{m}$ における第2のチューニング層8bの負の屈折率変化はほとんどない。

【0077】従って、図7(b)の実線1'で示すような屈折率変化特性を有する上記第1のチューニング層8aに電界を印加することにより、上記発振波長 $1.55\mu\text{m}$ で生じる正の屈折率変化 Δn は、その値がキャンセルされることなく取り出せるため、波長可変幅が狭くなることを抑制できる。

【0078】このように、本実施例3によれば、電氣的に独立して制御することができる活性層とチューニング層とを備えたTTG構造を有し、チューニング層に電界

を印加することにより波長を変化させる印加型のTTG構造波長可変半導体レーザ装置において、上記チューニング層を、各々異なった特性を示す第1のチューニング層8aと、第2のチューニング層8bとからなるものとし、該2種類の層8a, 8bのそれぞれに対応し、互いに電氣的に独立させた第1のp側電極12aと、第2のp側電極12bとを備えたものとしたので、上記第1のチューニング層8aに電界を印加することにより生じる、上記活性層6で発生させた光に対する吸収損失を、上記第2のチューニング層8bに印加する電界強度を調節して共振器全体の吸収損失が変化しないようにすることにより、吸収量の変化による負の屈折率変化をなくすことができ、上記第1のチューニング層8aによる正の屈折率変化による広い波長可変幅を維持することができ、これにより、先鋭なスペクトルを、広い範囲でその波長を可変することができる波長可変半導体レーザ装置を得ることができる。

【0079】なお、第1, 第2のチューニング層8a, 8bは、バルク層、あるいはMQW層のいずれの構造であつてもよく、上記第1のチューニング層8aは、活性層で発生する光に対し、電界印加により屈折率変化 Δn は大きい、吸収量変化 $\Delta\alpha$ が小さい層であり、上記第2のチューニング層8bは、活性層で発生する光に対し、電界印加により屈折率変化 Δn は小さい、吸収量変化 $\Delta\alpha$ が大きい層であればよい。

【0080】また、上記第1, 及び第2のチューニング層8a, 8bは、上述のように互いに異なった特性を有するものであることが必要であるが、これらの層は、材料組成の異なる層をそれぞれの層8a, 8bとして別々の結晶成長によって形成するようにしてもよく、また、マスクされた部分と開口部分（チューニング層が成長する部分）の面積比がそれぞれの層が形成される領域で異なるマスクを用いた選択成長を行なって、MQW構造のチューニング層8a, 8bを同時に結晶成長するようにしてもよい。後者の場合はMQW構造を構成する各層の層厚が、チューニング層8aと8bとで異なったものとなることによって、その特性が相互に異なるものとなるものである。

【0081】また、上記実施例では、2種類のチューニング層を設けて、これらを独立に制御するようにしたものについて示したが、3種類以上のチューニング層を設けてその各々を独立に制御するようにしてもよい。

【0082】また、上記実施例ではInP基板を用いた半導体レーザに適用したものについて示したが、GaAs基板を用いた他のIII-V族化合物半導体からなる半導体レーザにも本発明を適用できることは言うまでもない。

【0083】実施例4. 図9はこの発明の実施例4による波長可変半導体レーザ装置を説明するための図であり、図において、図1, あるいは図3と同一符号は同一

又は相当部分を示し、5aはバンドギャップ波長 $\lambda_g = 1.4 \mu\text{m}$ に相当する組成で、ピッチが2400オングストロームの回折格子層であり、これは、第1のP-I n Pバッファ層2を形成した後、該層2上に形成し、この上にチューニング層8を形成してなるものである。ここで上記回折格子層5aは、バルク型であっても、MQW型であっても良い。

【0084】次に、動作原理について説明する。本実施例4による波長可変半導体レーザ装置は、チューニング層8に電界を印加すると同時に、回折格子層5aにも電界を印加するようにしたものである。回折格子層5aに電界を印加すると、回折格子層5a部分の屈折率が增大して、回折格子の結合定数 k が増大する。結合定数 k が増大すると、回折格子層5aによる光の反射率が增大するため、回折格子ミラーによる反射損失を低減することができる。従って、本実施例では、上記チューニング層8に電界を印加したことによる吸収損失の増大を、同時に回折格子層5aに電界印加することによる反射損失の低減によってキャンセルすることができる。

【0085】このように、本実施例4においては、活性層に隣接して配置されたチューニング層に電界を印加することにより、レーザの発振波長を可変する波長可変半導体レーザ装置において、電界印加による上記チューニング層8での吸収損失の増大を、回折格子層5aに電界印加することによる反射損失の低減によってキャンセルする構成としたので、広い波長可変幅を有する波長可変半導体レーザ装置を得ることができる。

【0086】なお、上記実施例ではI n P基板を用いた半導体レーザに適用したものについて示したが、GaAs基板を用いた他のIII-V族化合物半導体からなる半導体レーザにも本発明を適用できることは言うまでもない。

【0087】実施例5。図10はこの発明の第5の実施例による波長可変半導体レーザ装置を説明するための図であり、図において、101はp型半導体基板、102はp型半導体バッファ層、105は回折格子形成層、106は活性層、108はチューニング層、109はn型半導体バッファ層、113はn型半導体コンタクト層である。また、110aはレーザ駆動用n側電極、110bはチューニング用n側電極、110cは回折格子電界印加用n側電極、120は共通p側電極である。

【0088】本実施例5は、上記実施例4と同様、チューニング層に対する電界印加による吸収損失の増大を、回折格子に電界を印加することによる反射損失の低減により補うようにしたものであり、その共振器構造を、上記第4の実施例のようなTTG構造ではなく、図に示すようなDBR(Distributed Bragg Reflector)構造としたものである。

【0089】即ち、本実施例5の波長可変半導体レーザ装置では、活性層106、チューニング層108、回折

格子105の各領域の上方に、各々電氣的に独立させたn側電極110a~110cを設け、活性層106で発生させた光の波長を、チューニング層108に電界を印加することによりチューニング層108の屈折率を変化させて可変し、チューニング層108に対する電界印加による吸収損失の増大を、回折格子105に電界を印加することによる反射損失の低減により補うようにしたものである。このような本第5の実施例によっても、上記第4の実施例と同様、広い波長可変幅を得ることができる。

【0090】実施例6。図11はこの発明の実施例6による波長可変半導体レーザ装置を説明するための図である。図において、100は図19に示した従来例と同様の構造を有するTTG構造の波長可変半導体レーザである。即ち、171はp-I n P基板であり、第1のp-I n Pバッファ層172は基板171上に配置される。チューニング層178は第1のp-I n Pバッファ層172上に配置され、n-I n Pスペーサ層177はチューニング層178上に配置され、活性層176はスペーサ層177上に配置される。p-I n Pガイド層174aは活性層176上に配置され、回折格子形成層175はガイド層174a上に配列される。第2のp-I n Pバッファ層174bはガイド層174a上に回折格子形成層175を埋め込むように配置され、第3のp-I n Pバッファ層174cは第2のp-I n Pバッファ層174b上、及び回折格子形成層175上に配置される。p-I n GaAsコンタクト層183は第3のp-I n Pバッファ層174c上に配置される。レーザ駆動用p側電極180はコンタクト層183に接して設けられ、チューニング用p側電極182は基板171裏面に設けられる。

【0091】また、60は外部変調器であり、これは、光位相変調器60aと、光強度変調器60bとからなり、波長可変半導体レーザ100の一方のレーザ端面から出射したレーザ光を光ファイバ70を介して受光し、変調して反射させたレーザ光を、上記レーザ端面から上記波長可変半導体レーザ100に戻すものである。

【0092】図12は上記外部変調器60の一例の具体的な構造を示す斜視図である。この外部変調器60は、一方の端面にHRコーティング膜65を設けた誘電体基板(LiNbO3)61の所定位置に所定の形状でTi拡散導波路62を形成し、該導波路62の入出力端側に光位相変調器側電極63と、上記HRコーティング膜65側に光強度変調器側電極64とを設けてなるものである。

【0093】また、図13は上記外部変調器60の他の例の具体的な構造を示す斜視図であり、図14は図13のD-D線における断面図である。図において、131はp-I n P基板、132はp-I n Pバッファ層、133は光導波層である。ここで、光導波層133はI n

GaAsPを用いて構成した多重量子井戸(MQW)構造を有し、位相変調器側の光導波層133aのバンドギャップ波長 λ_g が1.3 μm 、強度変調器側の光導波層133bのバンドギャップ波長 λ_g が1.5 μm となるように設計されている。また、134はn-InPバッファ層、135は半絶縁性InP埋込層、136はn-InGaAsコンタクト層、137は絶縁膜、138aは光位相変調器側n側電極、138bは光強度変調器側n側電極、139はp側電極、140はHRコーティング膜である。

【0094】また、図15は上記外部変調器60のさらに他の例の具体的な構造を示す斜視図であり、図16は図15のE-E線における断面図である。図において、151はp-InP基板である。第1のp-InPバッファ層152は基板151上に配置され、n-InP層161は第1のp-InPバッファ層152上に配置される。光導波層153はn-InP層161上に配置される。ここで、光導波層153は位相変調器側の光導波層153aのバンドギャップ波長 λ_g が1.3 μm 、強度変調器側の光導波層153bのバンドギャップ波長 λ_g が1.5 μm となるように設計されている。また、154は第2のp-InPバッファ層、155はn-InP埋込層、156はn-InGaAsコンタクト層、157は絶縁膜、158aは光位相変調器側p側電極、158bは光強度変調器側p側電極、159はp側電極、160はHRコーティング膜である。

【0095】本実施例6による波長可変半導体レーザ装置は、電界印加型のTTG構造を有する波長可変半導体レーザ100と、図12ないし図16に示したような外部変調器60を備え、上記波長可変半導体レーザ100からのレーザ光を光ファイバ70を介して、該レーザ光を受光、反射する上記外部変調器60に入力し、チューニング層178に電界を印加することにより吸収損失が増加するにつれて、外部変調器60の光強度を調節することにより、該外部変調器60から上記波長可変半導体レーザ本体に戻す光の強度を増加させる。これにより、上記チューニング層178で生じる吸収損失を補うことができ、広い波長可変幅を得ることができる。

【0096】なお、上記実施例ではInP基板を用いた半導体レーザに適用したものについて示したが、GaAs基板を用いた他のIII-V族化合物半導体からなる半導体レーザにも本発明を適用できる。

【0097】実施例7. 図17は本発明の第7の実施例による波長可変半導体レーザ装置を示す斜視図であり、図18は図17のF-F線における断面図である。図において、図11、図15と同一符号は同一又は相当部分である。

【0098】本実施例7による波長可変半導体レーザ装置は、上記実施例6において波長可変半導体レーザ100に光ファイバ70を介して結合させていた図15に示

した半導体型の外部変調器60を、波長可変半導体レーザ100と同一基板上に集積化して形成したものである。

【0099】このような本実施例7の波長可変半導体レーザ装置においても、波長可変半導体レーザ100に戻す光の強度を変調器60によって制御することにより、該波長可変半導体レーザ100のチューニング層178で生じる吸収損失を補うことができ、広い波長可変幅を得ることができる。

10 【0100】なお、上記実施例ではInP基板を用いた半導体レーザに適用したものについて示したが、GaAs基板を用いた他のIII-V族化合物半導体からなる半導体レーザにも本発明を適用できる。

【0101】

【発明の効果】以上のように、この発明によれば、第1導電型半導体基板上に配置され、電流注入により光を発生する半導体活性層と、第2導電型の半導体スペーサ層を挟んで上記半導体活性層と積層され、電界が印加されることによる屈折率変化により、レーザの発振波長を可変とする半導体チューニング層と、上記半導体活性層及び半導体チューニング層の両端に、相互に対向して設けられた前端面と後端面の反射率が相互に異なる一対の共振器端面と、上記半導体チューニング層に電界を印加する、共振器長方向に複数に分割された第1導電側の電界印加用電極と、上記半導体活性層に電流を注入する第1導電側の電流注入用電極と、上記半導体スペーサ層に電気的に接続された、上記第1導電側の電界印加用電極、及び上記第1導電側の電流注入用電極と対となる第2導電側の共通電極とを備えた構成としたので、分割された各電界印加用電極に対応する上記チューニング層の領域に印加する電界を調節することにより、共振器全体での吸収損失を一定に保ったままチューニング層に印加する電界の総和を増大させることができ、これにより、負の屈折率変化による減殺を生じることなく、チューニング層への電界印加による正の屈折率変化を取り出すことができ、上記活性層で発生させた光の波長を、スペクトル線幅を増大させずに大きな幅で可変することができる効果がある。

【0102】また、この発明によれば、上記波長可変半導体レーザ装置において、上記分割されたそれぞれの第1導電側の電界印加用電極と上記第2導電側の共通電極との間に、電界印加により共振器全体で生じる吸収損失がこれら電極により印加する電界の総和の大きさにかかわらず一定となるように、電圧を与える可変電圧源を備えた構成としたので、負の屈折率変化による減殺を生じることなく、チューニング層への電界印加による正の屈折率変化を取り出すことができ、上記活性層で発生させた光の波長を、スペクトル線幅を増大させずに大きな幅で可変することができる波長可変半導体レーザ装置を実現できる効果がある。

【0103】また、この発明によれば、上記波長可変半導体レーザ装置において、上記半導体チューニング層が上記半導体活性層の上側に積層された構成としたので、上記活性層で発生させた光の波長を、スペクトル線幅を増大させずに大きな幅で可変することができる波長可変半導体レーザ装置を半導体チューニング層が上側の構造で実現できる効果がある。

【0104】また、この発明によれば、第1導電型半導体基板上に配置され、電流注入により光を発生する半導体活性層と、第2導電型の半導体スペーサ層を挟んで上記半導体活性層と積層され、電界が印加されることによる屈折率変化により、レーザの発振波長を可変とする半導体チューニング層と、上記半導体活性層及び半導体チューニング層の両端に、相互に対向して設けられた前端面と後端面の反射率が相互に異なる一対の共振器端面と、上記半導体チューニング層に電界を印加する第1導電側の電界印加用電極と、上記半導体活性層に電流を注入する、共振器長方向に複数に分割された第1導電側の電流注入用電極と、上記半導体スペーサ層に電気的に接続された、上記第1導電側の電界印加用電極、及び上記第1導電側の電流注入用電極と対となる第2導電側の共通電極とを備えた構成としたので、上記チューニング層に電界を印加するに従い、共振器全体でのしきい値キャリア密度が一定となるように各電流注入用電極からの注入電流の量を調節することができ、これにより電界印加型のTTG構造で生じる吸収損失の増大による負の屈折率変化をなくすことができ、広い波長範囲で先鋭なスペクトルを出力することができる効果がある。

【0105】また、この発明によれば、上記波長可変半導体レーザ装置において、上記分割されたそれぞれの第1導電側の電流注入用電極と上記第2導電側の共通電極との間に、共振器全体のしきい値キャリア密度が上記電界印加用電極による電界印加により共振器全体で生じる吸収損失の大きさにかわらず一定となるように、電圧を与える駆動電源を備えた構成としたので、電界印加型のTTG構造で生じる吸収損失の増大による負の屈折率変化をなくすことができ、広い波長範囲で先鋭なスペクトルを出力する波長可変半導体レーザ装置を実現できる効果がある。

【0106】また、この発明によれば、上記波長可変半導体レーザ装置において、上記半導体チューニング層が上記半導体活性層の下側に積層された構成としたので、広い波長範囲で先鋭なスペクトルを出力する波長可変半導体レーザ装置を半導体活性層が上側の構造で実現できる効果がある。

【0107】また、この発明によれば、第1導電型半導体基板上に配置され、電流注入により光を発生する半導体活性層と、第2導電型の半導体スペーサ層を挟んで上記半導体活性層と積層された、電界印加による屈折率変化、吸収変化が異なる複数の領域を共振器長方向に配置

してなり、電界が印加されることによる屈折率変化により、レーザの発振波長を可変とする半導体チューニング層と、上記半導体活性層及び半導体チューニング層の両端に、相互に対向して設けられた前端面、及び後端面からなる一対の共振器端面と、上記半導体チューニング層の各領域に対応して分割され、上記半導体チューニング層に電界を印加する、第1導電側の電界印加用電極と、上記活性層に電流を注入する第1導電側の電流注入用電極と、上記半導体スペーサ層に電気的に接続された、上記第1導電側の電界印加用電極、及び上記第1導電側の電流注入用電極と対となる第2導電側の共通電極とを備えた構成としたので、チューニング層の一の領域に電界を印加することにより生じる、上記活性層で発生させた光に対する吸収損失を、チューニング層の他の領域に印加する電界強度を調節して共振器全体の吸収損失が変化しないようにすることができ、これにより吸収量の変化による負の屈折率変化をなくすことができ、チューニング層の一の領域による正の屈折率変化による広い波長可変幅を維持することができ、広い範囲でその波長を可変できる効果がある。

【0108】また、この発明によれば、上記波長可変半導体レーザ装置において、上記分割されたそれぞれの第1導電側の電界印加用電極と上記第2導電側の共通電極との間に、電界印加により共振器全体で生じる吸収損失がこれら電極により印加する電界の総和の大きさに関わらず一定となるように、電圧を与える可変電圧源を備えた構成としたので、吸収量の変化による負の屈折率変化をなくすことができ、チューニング層の一の領域による正の屈折率変化による広い波長可変幅を維持することができ、広い範囲でその波長を可変できる波長可変半導体レーザ装置を実現できる効果がある。

【0109】また、この発明によれば、電流注入により光を発生する半導体活性層と、電界が印加されることによる屈折率変化により、レーザの発振波長を可変とする半導体チューニング層と、共振器長方向に周期性を持つ回折格子を形成する半導体層と、上記半導体チューニング層に電界を印加する第1導電側の電界印加用電極と、上記半導体活性層に電流を注入する第1導電側の電流注入用電極と、上記回折格子を形成する半導体層に、回折格子の結合定数を増加させ上記半導体チューニング層に電界を印加することにより生ずる吸収損失を補償するように電界を印加する第1導電側の電極と、上記第1導電側の電界印加用電極、上記第1導電側の電流注入用電極、及び上記回折格子に電界を印加する第1導電側の電極と対となる第2導電側の共通電極とを備えた構成としたので、吸収量の変化による負の屈折率変化をなくすことができ、広い範囲でその波長を可変できる波長可変半導体レーザ装置を実現できる効果がある。

【0110】また、この発明によれば、上記波長可変半導体レーザ装置において、上記半導体活性層が、第1導

電型半導体基板上に配置されたものであり、上記半導体チューニング層が、第 2 導電型の半導体スペーサ層を挟んで上記半導体活性層と積層されたものであり、上記回折格子を形成する半導体層が、上記半導体チューニング層に接して配置されたものであり、上記第 2 導電側の共通電極が、上記半導体スペーサ層に電氣的に接続されたものであり、上記第 1 導電側の電界印加用電極が、上記回折格子を形成する半導体層に電界を印加する第 1 導電側の電極と兼用される構成としたので、広い範囲でその波長を可変できる T T G 構造の波長可変半導体レーザ装置を実現できる効果がある。

【0111】また、この発明によれば、上記波長可変半導体レーザ装置において、上記半導体活性層、上記半導体チューニング層、及び上記回折格子を形成する半導体層が、第 2 導電型基板上に、共振器長方向に位置的に直列して配置されたものであり、上記第 1 導電側の電界印加用電極、上記第 1 導電側の電流注入用電極、及び上記回折格子に電界を印加する第 1 導電側の電極が、上記半導体活性層、上記半導体チューニング層、及び上記回折格子を形成する半導体層に対応して位置的に直列して配置されたものであり、上記第 2 導電側の共通電極が、上記第 2 導電型基板裏面に設けられた構成としたので、広い範囲でその波長を可変できる D B R 構造の波長可変半導体レーザ装置を実現できる効果がある。

【0112】また、この発明によれば、電流注入により光を発生する半導体活性層と、電界が印加されることによる屈折率変化により、レーザの発振波長を可変とする半導体チューニング層と、上記半導体チューニング層に電界を印加する第 1 導電側の電界印加用電極と、上記半導体活性層に電流を注入する第 1 導電側の電流注入用電極と、上記第 1 導電側の電界印加用電極、及び上記第 1 導電側の電流注入用電極と対となる第 2 導電側の共通電極と、上記半導体活性層で発生し導波される光の量を、上記半導体チューニング層に電界を印加することにより生ずる吸収損失を補償するように制御する光変調器とを備えた構成としたので、吸収量の変化による負の屈折率変化をなくすことができ、広い範囲でその波長を可変できる波長可変半導体レーザ装置を実現できる効果がある。

【0113】また、この発明によれば、上記波長可変半導体レーザ装置において、上記光変調器を、上記半導体活性層とは異なる基板上に設けた構成としたので、吸収量の変化による負の屈折率変化をなくすことができ、広い範囲でその波長を可変できる波長可変半導体レーザ装置を実現できる効果がある。

【0114】また、この発明によれば、上記波長可変半導体レーザ装置において、上記光変調器を、上記半導体活性層と同一基板上に集積化して設けた構成としたので、広い範囲でその波長を可変できる集積型の波長可変半導体レーザ装置を実現できる効果がある。

【図面の簡単な説明】

【図 1】 この発明の第 1 の実施例による波長可変半導体レーザ装置の構造及び動作を説明するための図である。

【図 2】 第 1 の実施例による波長可変半導体レーザ装置の構造を示す斜視図である。

【図 3】 この発明の第 2 の実施例による波長可変半導体レーザ装置の構造及び動作を説明するための図である。

10 【図 4】 第 2 の実施例において、活性層に注入するレーザ駆動電流の総和 $I_f + I_r$ に対する A R コーティング側の活性層へのレーザ駆動電流 I_f の割合と共振器全体のしきい値キャリア密度との関係を示す図である。

【図 5】 第 2 の実施例による波長可変半導体レーザ装置の構造を示す斜視図である。

【図 6】 この発明の第 3 の実施例による波長可変半導体レーザ装置の構造及び動作を説明するための図である。

20 【図 7】 第 3 の実施例において、第 1、第 2 のチューニング層 8 a、8 b に電界を印加したときのそれぞれの吸収、及び屈折率の変化を示す図である。

【図 8】 第 3 の実施例による波長可変半導体レーザ装置の構造を示す斜視図である。

【図 9】 この発明の第 4 の実施例による波長可変半導体レーザ装置の構造及び動作を説明するための図である。

【図 10】 この発明の第 5 の実施例による波長可変半導体レーザ装置の構造及び動作を説明するための図である。

30 【図 11】 この発明の第 6 の実施例による波長可変半導体レーザ装置の構造及び動作を説明するための図である。

【図 12】 第 6 の実施例による波長可変半導体レーザ装置の外部変調器の一例を示す図である。

【図 13】 第 6 の実施例による波長可変半導体レーザ装置の外部変調器の他の例を示す図である。

【図 14】 図 13 に示す外部変調器の光導波の方向に沿った断面を示す図である。

40 【図 15】 第 6 の実施例による波長可変半導体レーザ装置の外部変調器のさらに他の例を示す図である。

【図 16】 図 15 に示す外部変調器の光導波の方向に沿った断面を示す図である。

【図 17】 この発明の第 7 の実施例による波長可変半導体レーザ装置を示す斜視図である。

【図 18】 図 17 の XVIII-XVIII 線における断面図である。

【図 19】 従来の T T G 構造の波長可変半導体レーザ装置を示す斜視図である。

50 【図 20】 従来の電流注入型の T T G 構造の波長可変半導体レーザ装置の動作を説明するための図である。

31

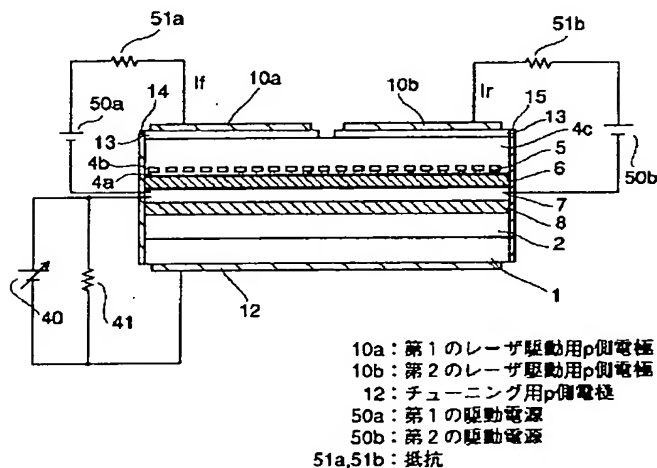
【図21】 従来の電圧印加型のTTG構造の波長可変半導体レーザ装置の動作を説明するための図である。

【図22】 従来の電圧印加型のTTG構造の波長可変半導体レーザ装置の問題点を説明するための図である。

【符号の説明】

1 p-InP基板、2 第1のp-InPバッファ層、3 n-InP埋込層、4a p-InPガイド層、4b 第2のp-InPバッファ層、4c 第3のp-InPバッファ層、5、5a 回折格子形成層、6 活性層、7 n-InPスペーサ層、8 チューニング層、8a 第1のチューニング層、8b 第2のチューニング層、9 絶縁膜、10 レーザ駆動用p側電極、10a 第1のレーザ駆動用p側電極、10b 第2のレーザ駆動用p側電極、11 n側電極、12 チューニング用p側電極、12a 第1のチューニング用p側電極、12b 第2のチューニング用p側電極、13 p-InGaAsコンタクト層、13a 第2電導体型半導体コンタクト層、14 ARコーティング層、15 HRコーティング層、40 可変電源、40a 第1の可変電源、40b 第2の可変電源、41、41a、41b、51、51a、51b 抵抗、50 駆動電源、50a 第1の駆動電源、50b 第2の駆動電源、60 外部光変調器、60a 光位相変調器、60b 光強度変調器、61 誘電体基板、62 Ti拡散導波路、63 光位相変調器側電極、64 光強度変調器側電極、65 HRコーティング膜、70 光ファイバ、100 TTG構造波長可変半導体レーザ、101 p型半導体基板、102 p型半導体バッファ層、105 回折格子、106 活性層、108 チューニング層、109

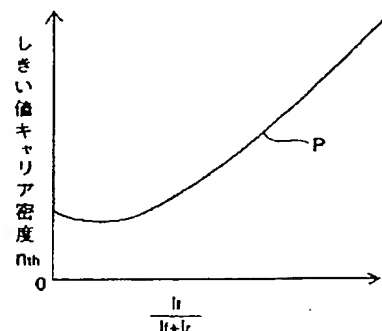
【図3】



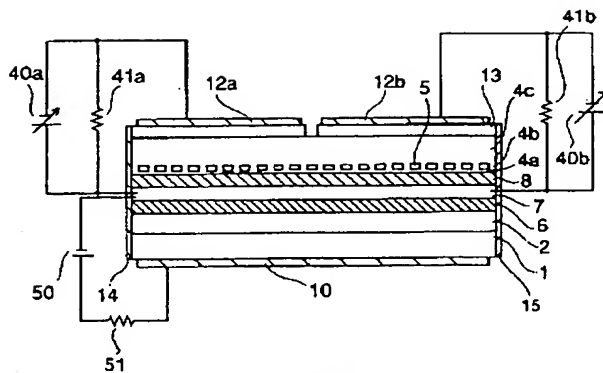
32

n型半導体バッファ層、110a レーザ駆動用n側電極、110b チューニング用n側電極、110c 回折格子電界印加用n側電極、113 n型半導体コンタクト層、120 共通p側電極、131 p型半導体基板、132 p型半導体バッファ層、133 光導波層、133a 光導波層（位相変調器側）、133b 光導波層（強度変調器側）、134 n型半導体バッファ層、135 半絶縁性埋込層、136 n型半導体コンタクト層、137 絶縁膜、138a 光位相変調器側n側電極、138b 光強度変調器側n側電極、139 p側電極、140 HRコーティング膜、151 p型半導体基板、152 第1のp型半導体バッファ層、153 光導波層、153a 光導波層（位相変調器側）、153b 光導波層（強度変調器側）、154 第2のp型半導体バッファ層、155 n型半導体埋込層、156 p型半導体コンタクト層、157 絶縁膜、158a 光位相変調器側p側電極、158b 光強度変調器側p側電極、159 n側電極、160 HRコーティング膜、161 n型半導体層、171 p-InP基板、172 第1のp-InPバッファ層、173 n-InP埋込層、174a p-InPガイド層、174b 第2のp-InPバッファ層、174c 第3のp-InPバッファ層、175 回折格子形成層、176 活性層、177 n-InPスペーサ層、178 チューニング層、179 絶縁膜、180 レーザ駆動用p側電極、181 n側電極、182 チューニング用p側電極、183 p-InGaAsコンタクト層。

【図4】

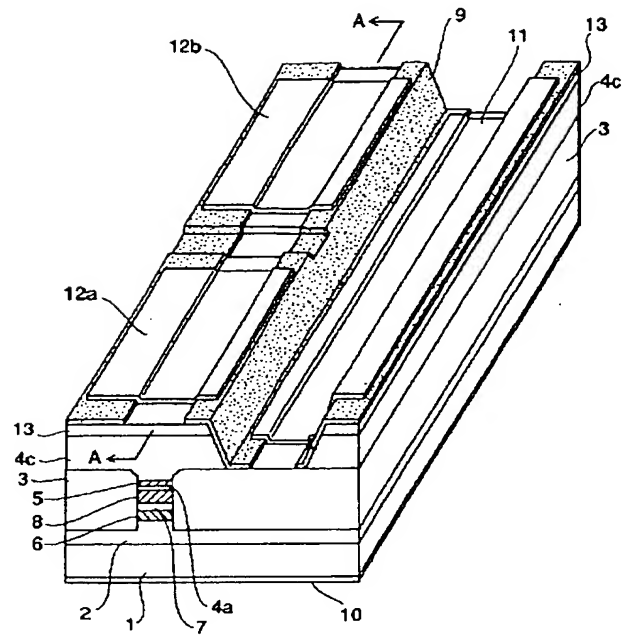


【図1】



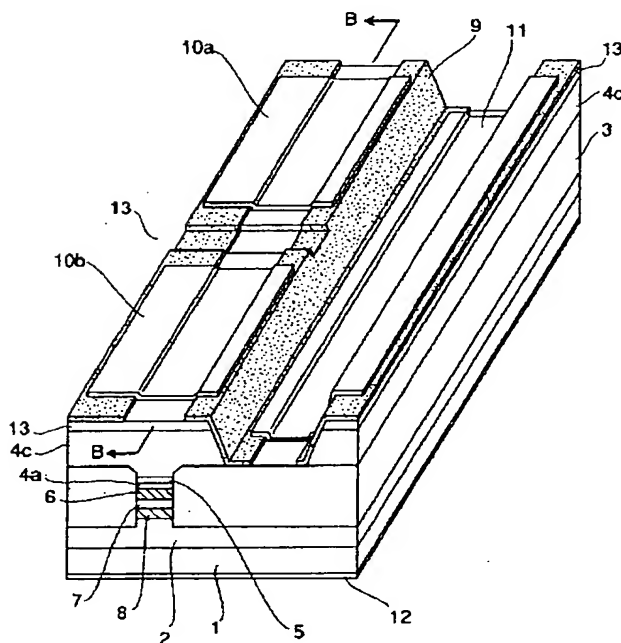
- 1: p-InP基板
 2: 第1のp-InPバッファ層
 4a: p-InPガイド層
 4b: 第2のp-InPバッファ層
 4c: 第3のp-InPバッファ層
 5: 回折格子形成層
 6: 活性層
 7: n-InPスペーサ層
 8: チューニング層
 10: レーザ駆動用p側電極
 12a: 第1のチューニング用p側電極
 12b: 第2のチューニング用p側電極
 13: p-InGaAsコンタクト層
 14: ARコーティング層
 15: HRコーティング層
 40a: 第1の可変電圧源
 40b: 第2の可変電圧源
 41a, 41b, 51: 抵抗
 50: 駆動電源

【図2】

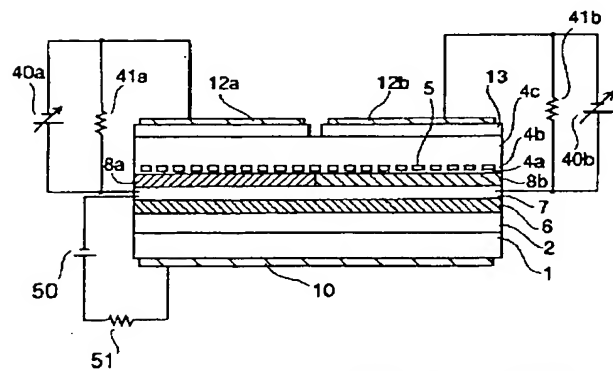


- 3: n-InP埋め込み層
 9: 絶縁層
 11: n側電極

【図5】

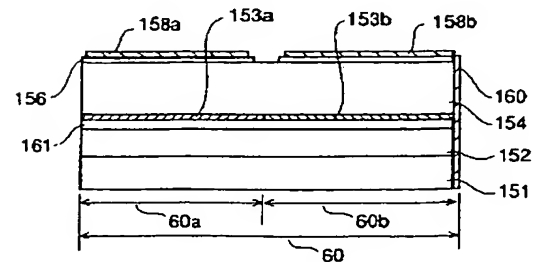


【図6】

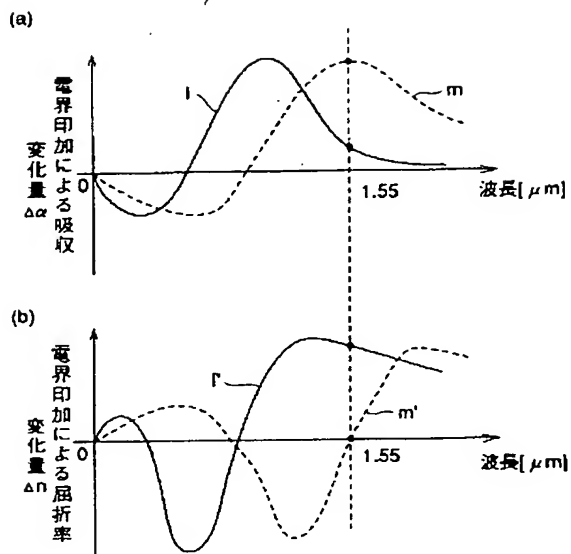


- 8a: 第1のチューニング層
 8b: 第2のチューニング層

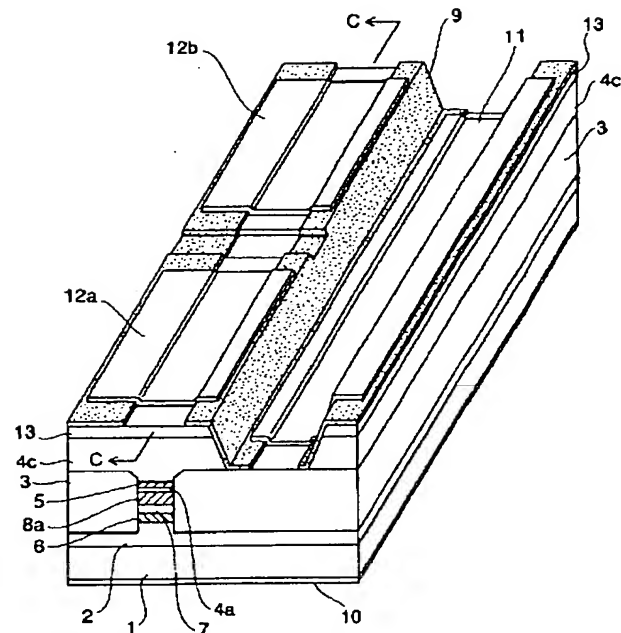
【図16】



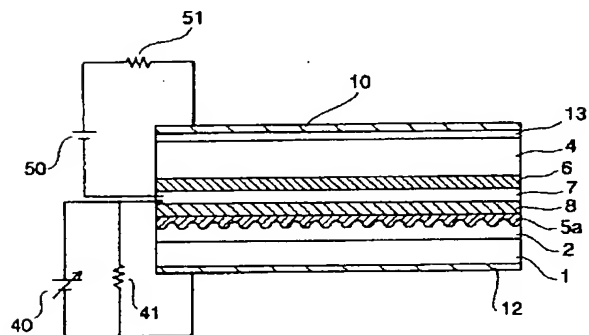
【図7】



【図8】

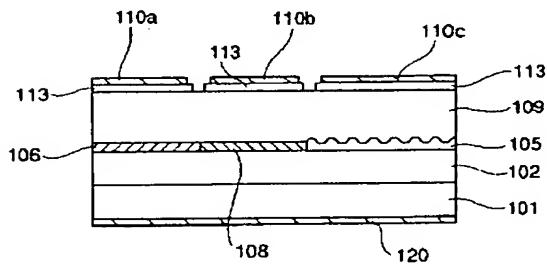


【図9】



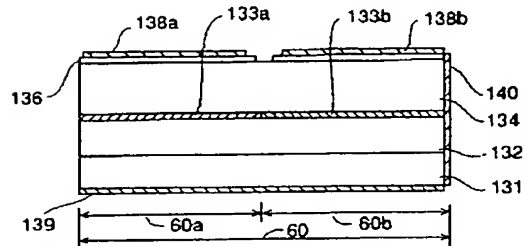
5a: 回折格子形成層

【図10】



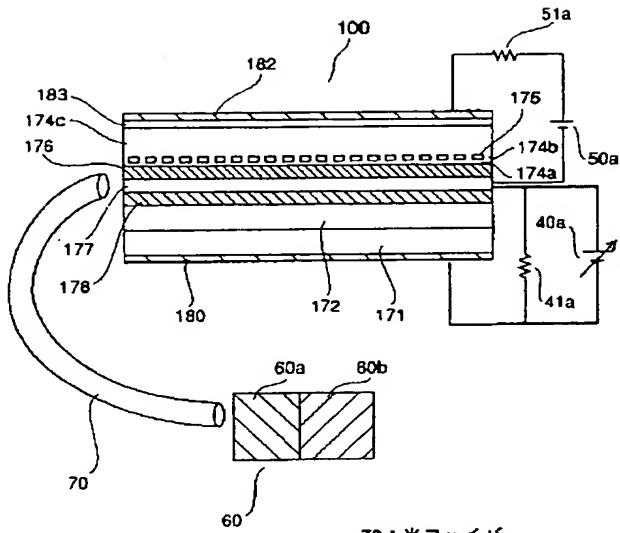
101: p型半導体基板
 102: p型半導体バッファ層
 105: 回折格子
 106: 活性層
 108: チューニング層
 109: n型半導体バッファ層
 113: n型半導体コンタクト層
 110a: レーザ駆動用n側電極
 110b: チューニング用n側電極
 110c: 回折格子電界印加用n側電極
 120: 共通p側電極

【図14】



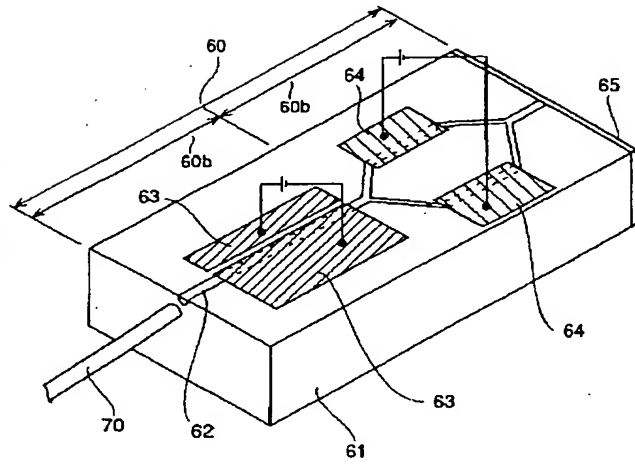
133a: 光導波層(位相変調器側)
 133b: 光導波層(強度変調器側)

【図11】



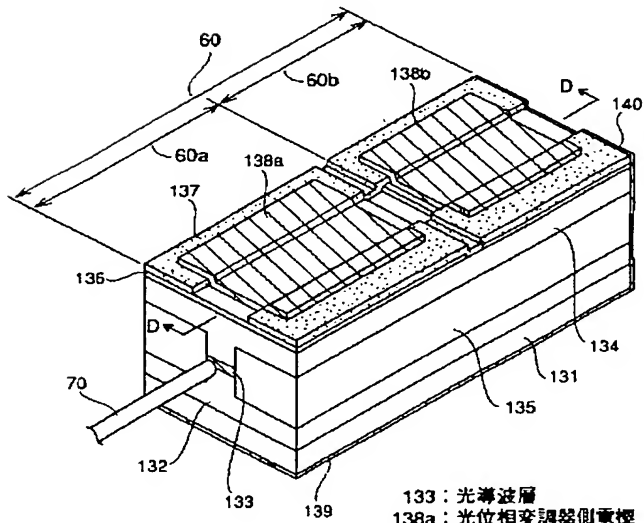
70: 光ファイバ
60: 外部光変調器
60a: 光位相変調器
60b: 光強度変調器

【図12】



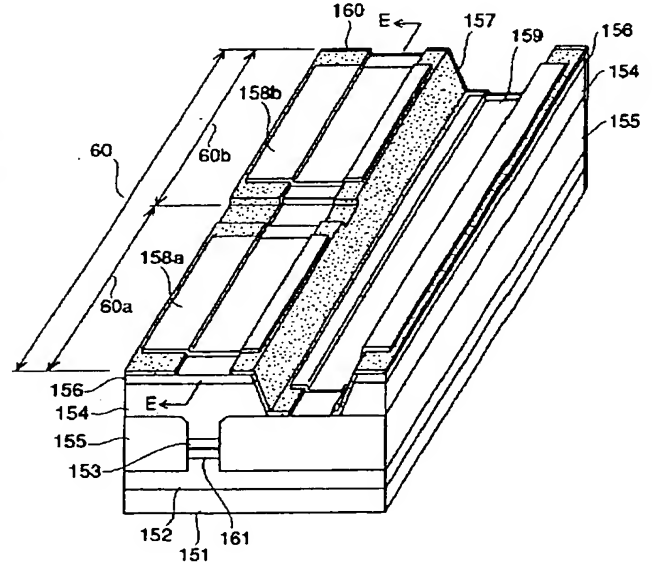
61: 誘電体基板(LiNbO₃)
62: TiN散薄波路
63: 光位相変調器側電極
64: 光強度変調器側電極
65: HRコーティング膜

【図13】

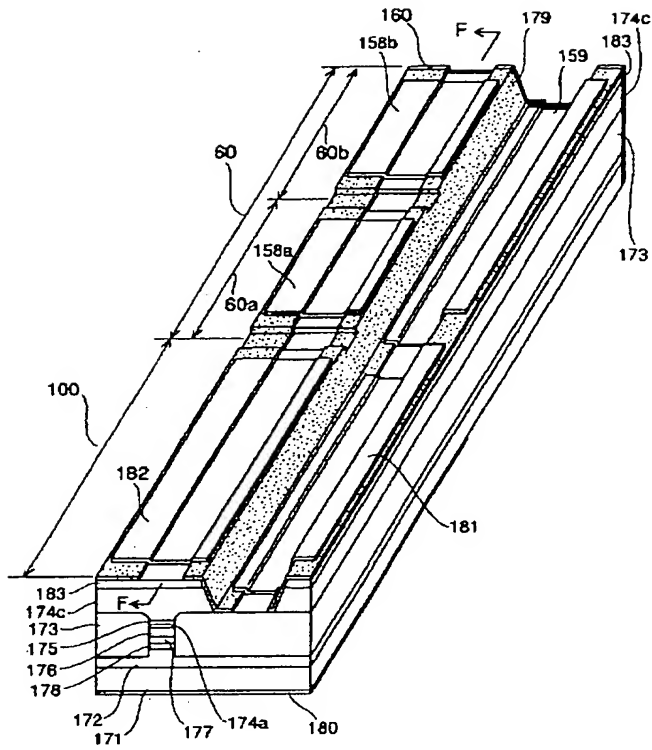


133: 光導波層
138a: 光位相変調器側電極
138b: 光強度変調器側電極

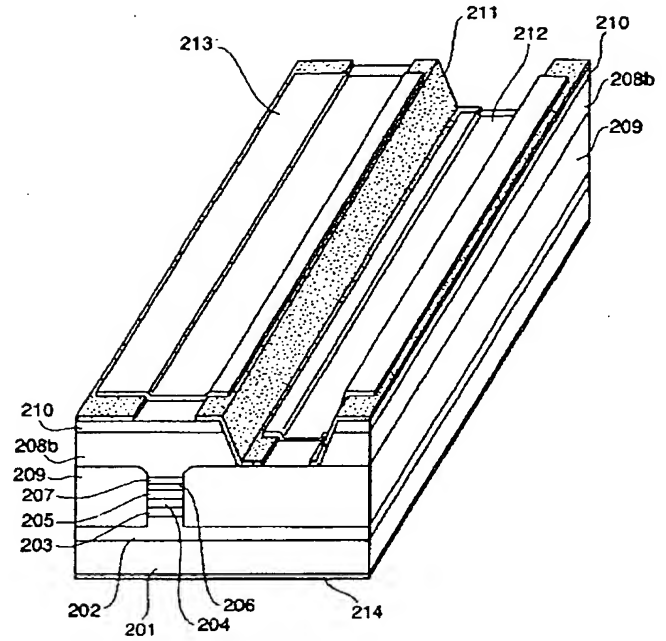
【図15】



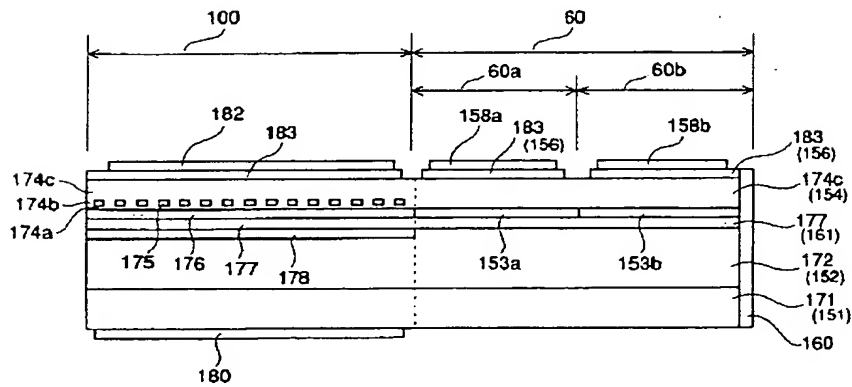
【図17】



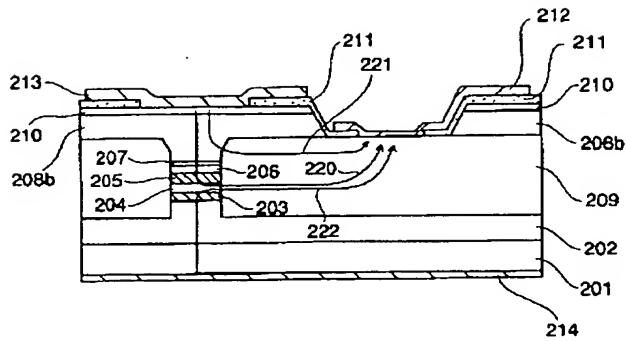
【図19】



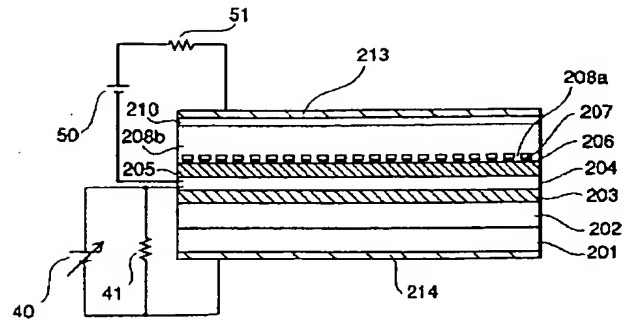
【図18】



【図20】



【図21】



【図22】

